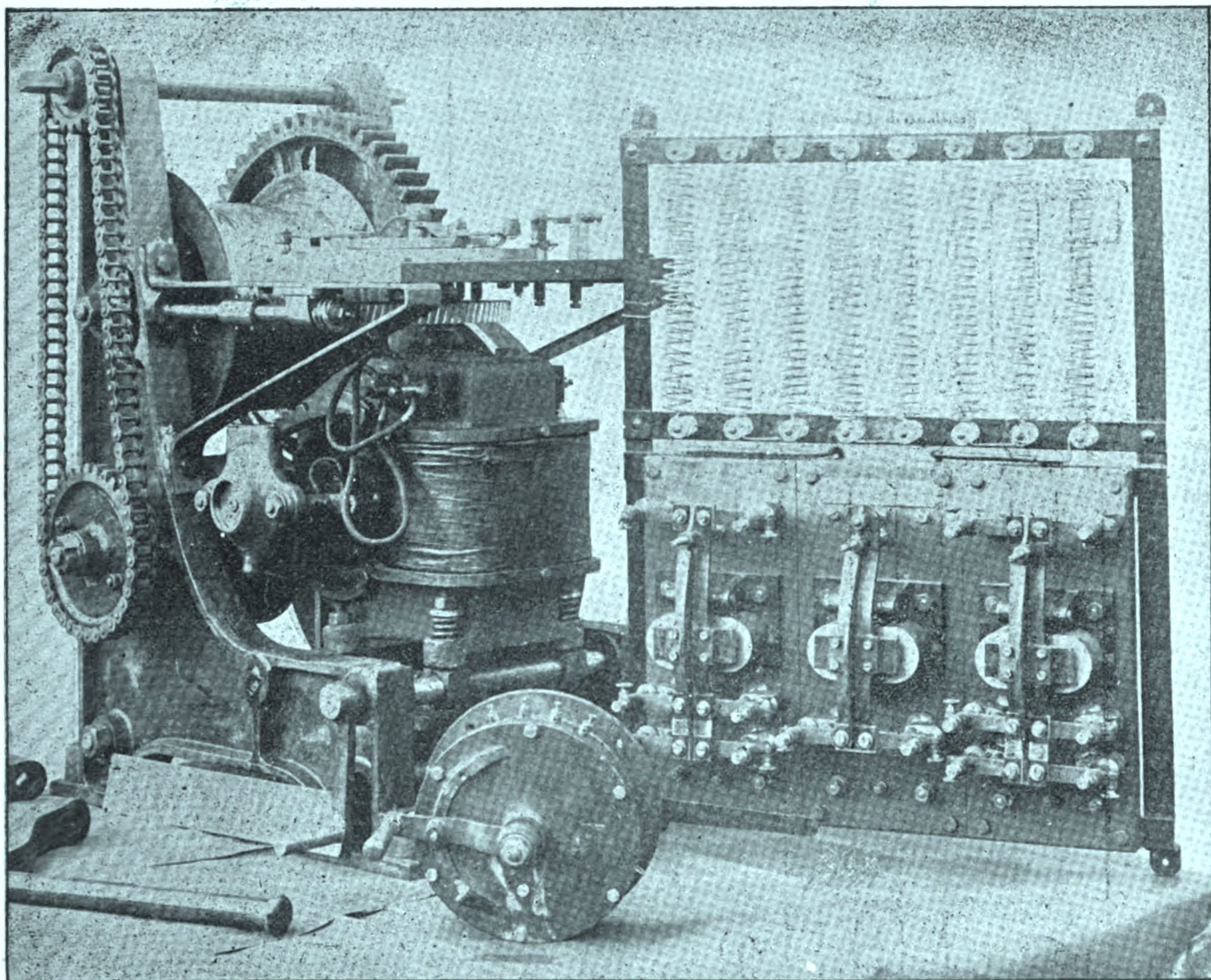


L'Éclairage électrique


VET TES TAM EN
NOV TAM TVM
Dei
Sub Numine
Viget

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

Directeur scientifique : J. BLONDIN

Secrétaire de la rédaction : G. PELLISSIER

TOME VII

2e TRIMESTRE 1896

PARIS

GEORGES CARRÉ, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3

Tome VII. Samedi 4 Avril 1896 3e Année. — N° 14

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

Directeur Scientifique J. BLONDIN

Secrétaire de la rédaction : G. PELLISSIER

LE CARBURE DE CALCIUM ET L'ACÉTYLÈNE

L'éclairage à l'acétylène est une question tout à fait à l'ordre du jour, selon l'expression consacrée. Tout le monde en parle, même les profanes que d'ordinaire les questions scientifiques et industrielles laissent froids ; tous les journaux scientifiques et même politiques s'occupent de ce procédé dénommé pompeusement « l'éclairage de l'avenir ».

D'où vient cet engouement subit pour un gaz connu depuis fort longtemps ? D'abord de ce que la valeur de l'acétylène comme agent éclairant a longtemps passé inaperçue. Jusqu'à ces dernières années, la préparation ordinaire de l'acétylène consistait à faire brûler incomplètement du gaz d'éclairage dans l'appareil de Rieth et Jungfleisch. L'acétylène produit était séparé de toutes les impuretés qui l'accompagnaient en faisant passer le mélange gazeux dans une solution cuivreuse ammoniacale. Il se formait un précipité rouge d'acétylure cuivreux, d'où l'acétylène pur était retiré par un traitement à l'acide chlorhydrique étendu. Ce procédé était long et dangereux, car l'acétylure de cuivre détone spontanément avec la plus grande facilité. L'acétylène produit ainsi coûtait très cher, et personne n'avait songé que ce gaz serait jamais susceptible d'une application industrielle importante. On s'était contenté d'étudier, au point de vue scientifique, ses propriétés physiques ou chimiques. On l'avait, par exemple, enflammé au bout d'un tube quelconque et l'on avait constaté qu'il donnait naissance à une fumée abondante. On s'en est tenu là, car l'on ne voyait pas intérêt à observer minutieusement les conditions de combustion d'un corps que tous les traités de chimie indiquaient invariablement comme brûlant « avec une flamme très fuligineuse ».

D'ailleurs eût-on connu à ce moment les becs capables de donner avec l'acétylène une flamme d'une intensité lumineuse considérable, que l'acétylène n'eût pas acquis la notoriété publique dont il jouit actuellement, car le procédé de fabrication chimique du gaz était vraiment trop ordinaire pour avoir le don de frapper l'imagination des masses. Mais lorsque la fabrication de l'acétylène par décomposition du carbure de calcium fut connue, lorsqu'on vit une grande flamme sortir d'une pierre noire jetée dans l'eau, la badauderie du public fut excitée au plus haut point, l'acétylène fut déclaré d'emblée un gaz « merveilleux », et sa réputation devint universelle.

A cette époque, fin 1895, la fabrication industrielle du carbure de calcium par les procédés électriques ne faisait que commencer. Il était donc impossible de connaître le prix de revient du carbure et, par suite, de l'éclairage à l'acétylène. Aussi s'est-on livré de toutes parts à des calculs plus ou moins hypothétiques. Le carbure coûte, par petite quantité, 1 fr le kg, a-t-on dit, mais à mesure

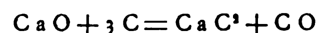
que les débouchés vont se multiplier, le prix du carbure va baisser rapidement et sera bientôt à 300 fr, 200 fr, même 100 fr la tonne. Les Américains ont renchéri sur le tout et l'un d'eux a fait le projet d'une usine dans laquelle on traiterait des quantités énormes de charbon, de calcaire et d'argile. On fabriquerait ainsi des briques réfractaires vendues à des prix très rénumérateurs, et la chaux ne coûtant plus rien le carbure de calcium deviendrait une sorte de sous-produit d'un prix insignifiant, 35 fr la tonne environ.

A présent que la fabrication du carbure de calcium est montée d'une façon courante dans plusieurs usines, l'éclairage à l'acétylène peut donner lieu à une discussion basée sur des données un peu précises.

Parlons d'abord du carbure de calcium. Avant d'être fabriqué par les procédés électriques, ce produit avait été préparé en petite quantité et à l'état impur par voie chimique, notamment par *M. Maquenne*. Le carbure de calcium a été obtenu au four électrique à peu près simultanément par *M. Moissan* en France et par *M. Willson* en Amérique. M. Moissan a signalé en 1892 la présence d'un carbure de calcium de composition inconnue produit par attaque des électrodes en charbon dans la fusion de la chaux au four électrique [1].

Le premier brevet relatif au carbure de calcium électrique est celui pris en février 1893, par M. Willson. Mais, d'après M. Bullier, qui a pris en 1894 les brevets de fabrication du carbure par le four Moissan, le premier brevet Willson est sans valeur, parce qu'il fait mention de conditions opératoires avec lesquelles le carbure ne peut pas, en fait, se produire.

Cette question de priorité est trop délicate pour que nous essayions de la discuter ; nous constaterons simplement qu'à partir de 1895 le carbure a commencé à être fabriqué industriellement, en Amérique comme en France, par fusion dans un four électrique d'un mélange de charbon et de chaux, d'après la réaction suivante :



$$CaO + 3C = CaC^2 + CO$$

Sous l'influence de la température excessivement élevée produite par un arc électrique d'une grande intensité, le mélange de chaux et de charbon entre en fusion, et la fusion es d'après M. Moissan une condition essentielle pour la réussite de l'opération ; le charbon se combine alors au calcium réduit pour former un carbure qui reste dans le bain, tandis que l'oxyde de carbone s'enflamme dans le four même avec dégagement d'acide carbonique.

La théorie indique qu'il est nécessaire de mettre en présence 666 kg de charbon et de 1 037 kg de chaux pour obtenir une tonne de carbure. En réalité il faut ajouter un excès de charbon si l'on veut que tout le calcium de la chaux soit réduit. Quant à la somme d'énergie électrique consommée dans le four, elle dépend d'un grand nombre de facteurs et il est à peu près impossible de l'évaluer par le calcul ; on ne peut que s'en rapporter aux résultats fournis par l'expérience. M. Willson dit qu'avec un cheval électrique agissant pendant 24 heures, soit 24 chevaux-heures, il obtient actuellement 9 kg de carbure et, par une fabrication soignée, arrivera à 13 kg. Ces chiffres sont généralement considérés comme exagérés par les autres fabricants de carbure. M. Bullier nous a déclaré qu'il n'avait jamais pu obtenir plus de 6 kg, et comptait en moyenne sur 4 kg de carbure avec 1 cheval pendant 24 heures. L'usine de Froges n'évalue même le rendement qu'à 2 kg environ de carbure par 24 chevaux-heure. Ces chiffres n'ont, il est vrai, qu'une valeur momentanée ; ce sont ceux que l'on obtient actuellement, mais on pourra probablement les améliorer plus tard en perfectionnant les appareils ou la marche de l'opération.

En tout cas, même en adoptant les chiffres de M. Willson, qui sont les plus favorables, il faut encore 2 666 chevaux-heure électriques

[1] Voir *A propos du carbure de calcium* par M. RIGAULT dans l'*Éclairage Électrique* du 22 juin 1895, p. 554.

ou 1962 kilowatts-heure pour obtenir une tonne de carbure. La fabrication du carbure demande donc une somme d'énergie électrique considérable et ne peut par conséquent être entreprise que dans des usines électriques disposant d'une force motrice très grande et coûtant très bon marché, c'est à dire provenant d'une chute d'eau.

Les usines électro-métallurgiques d'aluminium remplissent ces conditions ; aussi ontelles été les premières à entreprendre la fabrication du carbure de calcium. C'est à l'usine d'aluminium de Spray (Caroline du Nord) que M. Willson a fabriqué jusqu'à présent son carbure de calcium. La Société l'*Electro Gaz Co*, qui s'est fondée ensuite en Amérique pour l'exploitation des procédés Willson, installe en ce moment à Bufalo une usine qui recevra le courant de l'usine du Niagara et emploiera, dit-on, d'abord 1 000 chevaux, puis peu de temps après 5 000 chevaux. Nous n'avons aucun renseignement sur la puissance de production de cette usine, ni sur la qualité ou le prix de son carbure, car il est impossible de se procurer du carbure américain en France.

La première fabrique de carbure qui ait été installée en Europe est celle de Neuhausen (Suisse). La *Société industrielle de l'aluminium* possède à Neuhausen, à 4 km de Schaffouse, une usine hydraulique de 3 000 chevaux, obtenus par la captation d'une portion des célèbres chutes du Rhin. On fait dans cette usine, depuis 1888, de grandes quantités d'aluminium préparé par les procédés électro-métallurgiques. La fabrication du carbure de calcium y a été entreprise au commencement de 1895, en utilisant l'excès de courant laissé disponible par les fours à aluminium. La Société a déjà acquis une chute d'eau de 16000 chevaux avec laquelle elle construira, si l'acétylène prend un grand développement, une usine uniquement consacrée au carbure de calcium. Dès maintenant le carbure a déjà pris une grande importance à Neuhausen, car le directeur nous a dit, en janvier, qu'il en produisait un peu plus d'une tonne par jour. C'est actuellement la fabrique de carbure la plus importante d'Europe.

Une usine de produits chimiques électrolytiques, située à Bitterfeld, en Saxe, a entrepris, au milieu de 1895, la fabrication du carbure de calcium et a acquis une licence des brevets Bullier, nous ne connaissons pas sa production. Ensuite la Société « Le Carbide » fondée en Allemagne par l' « Allgemeine electricitäts Gesselschaft », et la maison Siemens et Halske a acquis également une licence des brevets Bullier et installé, à la fin de 1895, près de Berlin, une usine destinée spécialement à la fabrication du carbure de calcium.

Une société anglaise a mis récemment en construction, paraît-il, une usine située dans un centre minier, au pied d'un puits d'extraction, de manière à obtenir du charbon à 5 fr la tonne. Le carbure sera fabriqué d'après les procédés Willson et la force motrice fournie par des machines à vapeur et des chaudières. Il nous paraît difficile d'arriver à obtenir du carbure aussi bon marché dans une usine à vapeur que dans une usine hydraulique, car les frais d'entretien et de personnel sont plus élevés et le combustible, malgré son prix très bas, constitue encore une dépense supplémentaire qui n'est pas négligeable quand il s'agit de créer une puissance d'un millier de chevaux.

M. Bullier fabrique depuis quelques mois du carbure de calcium dans des fours Moissan, en empruntant une partie de la force motrice de l'usine électrolytique de chlorate de potasse de Vallorbes (Suisse). Il produit, paraît-il, environ 300 kg de carbure par jour et possède en installation, en Savoie, une usine hydraulique disposant de 3 000 chevaux.

Enfin, en novembre dernier, la *Société électro-métallurgique française* établie en 1888 pour la préparation de l'aluminium par les procédés Héroult, a entrepris la fabrication du carbure de calcium dans son usine de Froges (Isère).

Nous ne pouvons donner quelques détails sur la préparation du carbure que d'après ce

que nous avons vu à Froges, aucune autre usine de carbure n'ayant consenti à mettre sous nos yeux ses procédés de fabrication.

L'usine de Froges, située à mi-chemin entre Grenoble et Chambéry, est alimentée par le ruisseau des Adrets, petit affluent de l'Isère qui descend du massif de Belledone en n'entraînant qu'un volume d'eau insignifiant mais, qui présente à Froges une chute de 200 mètres de hauteur. Ce ruisseau, dont le débit atteint 2 à 3 mètres cubes par minute au moment de la fonte des neiges et descend quelquefois 250 litres, a été capté tout entier au moyen d'une conduite en tôle, disposée sur le versant de la colline qui domine l'usine. L'établissement de cette conduite n'a pas été très onéreux, car elle n'a que 500 mètres de longueur et se compose simplement d'une série de tuyaux raccordés, de 4 m de longueur et 0,70 de diamètre supportés de distance en distance sur de petits massifs de maçonnerie. Au sortir de l'usine, l'eau qui a traversé les turbines rejoint le cours naturel du ruisseau par un canal en maçonnerie de faible longueur et de très faible section. La chute de Froges peut fournir une force motrice variant, suivant la saison, entre 500 et 1 000 chevaux.

Jusqu'en août 1895, l'usine de Froges était utilisée à la fabrication électrolytique de l'aluminium par le procédé Héroult. Mais l'emploi de l'aluminium, dont le prix est descendu aujourd'hui à 3,50 fr le kg, ayant pris dans ces derniers temps une extension considérable, la *Société électrométallurgique française* a monté à *La Praz,* près de Modane une grande usine disposant d'une force motrice hydraulique de 4 000 chevaux qui peut être facilement portée à 15 000 chevaux. Depuis le mois d'août dernier, tout l'aluminium livré par la Société est fabriqué dans cette nouvelle usine, munie d'un matériel entièrement neuf. L'installation de Froges, rendue ainsi disponible, est devenue une sorte d'usine d'expérience dans laquelle on prépare des produits nouveaux, tels que le carbure de calcium et le ferro-aluminium à 10 pour 100 employé dans la métallurgie du fer.

L'usine se compose simplement d'une grande salle de 30 m de long sur 25 m de large, à laquelle est adossé un petit local servant de magasin et d'atelier. La conduite d'arrivée de l'eau sous pression se divise en 3 branchements parallèles commandés chacun par une vanne principale verticale, une valve verticale à papillon et un distributeur ou appareil de réglage à tiroir horizontal. Les 3 branchements alimentent 3 turbines disposées sur une même ligne : 2 grosses turbines de 500 chevaux chacune et une turbine plus petite de 100 chevaux. Ces 3 turbines construites par la maison Escher et Wyss, de Zurich, sont du même modèle à axe horizontal et à arrivée d'eau intérieure.

Sur l'arbre de chacune des 2 grosses turbines est montée une dynamo Brown à 6 pôles, à excitation séparée, d'une puissance de 360 kilowatts. Chacune de ces dynamos qui ont 3 mètres de diamètre extérieur et tournent à la vitesse angulaire de 180 tours par minute, peut donner un courant de 6 000 ampères à la tension de 60 volts. La petite turbine, qui fait 400 tours par minute, commande directement une dynamo shunt Brown type Manchester de 73 kilowatts, fournissant 65 ampères et 110 volts. La plus grande partie du courant, soit 55 ampères environ, est employée à l'excitation des grosses dynamos d'électrolyse. L'excédent de courant est utilisé pour l'éclairage par lampes à incandescence de l'usine, des bureaux et de la partie de la route voisine de la maison du directeur.

L'installation des circuits électriques est des plus rudimentaires. Il n'existe pas de tableau de distribution proprement dit. On ne touche jamais à l'excitation des dynamos d'électrolyse et le courant de la dynamo Manchester, après avoir traversé un interrupteur, se rend directement par des câbles isolés placés sous moulure au niveau du sol, au circuit inducteur des dynamos d'électrolyse, sans passer par un rheostat ni par un ampè-

remètre. Le courant servant à l'éclairage est amené aux lampes par des fils aériens et n'est jamais réglé ; la dynamo à 110 volts ne porte même pas de voltmètre.

Les deux pôles de chacune des 2 dynamos d'électrolyse sont réunis par deux gros câbles nus à une sorte de socle en bois, placé à côté de la machine et portant deux plaques de connexion ainsi qu'un ampèremètre indiquant le débit total de la dynamo. Les fours sont reliés directement aux dynamos, sans intermédiaire d'aucun interrupteur ; car ces appareils, qui d'ailleurs seraient très coûteux et se détérioreraient très vite, ne sont pas indispensables. Chaque dynamo peut alimenter 3 fours placés à 5 mètres en arrière.

Sur les plaques de connexion positive et négative de la dynamo sont fixés à demeure par une de leur extrémité, 3 gros conducteurs en cuivre nu dont l'autre extrêmite est laissée libre et n'est reliée aux fours que lorsque ceux-ci vont être mis en marche. Chaque conducteur se compose de 6 câbles de 25 mm de diamètre. Les conducteurs négatifs se rendent à l'emplacement des fours en passant au travers d'un caniveau en bois posé sur le sol ; les conducteurs positifs sont simplement suspendus en l'air et retenus après la charpente du bâtiment par des liens en cordage.

Actuellement 3 fours seulement sont utilisés et il n'y en a jamais plus de deux en marche, actionnés chacun par une dynamo spéciale. Quelquefois même on ne fait fonctionner qu'un seul four et par conséquent qu'une seule dynamo. Deux fours sont affectés au carbure de calcium et un troisième au ferro-aluminium ; ils sont mis au repos à tour de rôle et l'on profite de ce moment pour remettre en état les creusets, qui ont besoin de réparations fréquentes.

Les 3 fours, qui ont déjà servi au début de la fabrication de l'aluminium, sont semblables et n'ont subi aucune modification. Ils portent quatre roulettes, comme l'indique le croquis de la fig. 1, permettant de les déplacer facilement. Le four proprement dit A a la forme d'un parallélipède de 1,80 m × 1,50 m × 1,50 m. Il se compose d'un creuset ou bloc de graphite *a* recouvert d'un revêtement extérieur en fonte et portant une cavité intérieure *d*. La cavité intérieure du creuset *d* communique à sa partie supérieure avec une ouverture de chargement E et à la partie inférieure avec un orifice de coulée B en face duquel est placée la cuve C destinée à recueillir la matière fondue. La masse du four qui

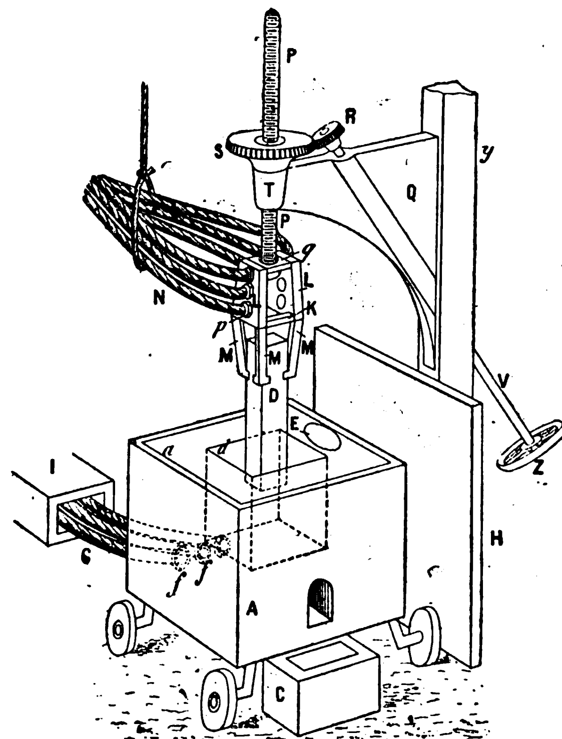


Fig. 1. — Four pour la fabrication du carbure de calcium de l'usine de Froges.

forme l'électrode négative de l'appareil est isolée du sol par les roulettes. Les câbles I du conducteur négatif sont fixés par des boulons *f* sur la paroi d'arrière du four A. L'électrode positive est constituée par une tige de charbon D de 20 centimètres de côté, serrée par les 4 griffes M de la mâchoire K, dont les deux flasques L servent de point d'attache aux 6 câbles du conducteur positif N. La mâchoire K est solidaire d'une tige filetée P au moyen de laquelle l'électrode peut être élevée ou abaissée. A cet effet la tige P traverse un manchon fileté T faisant partie d'une potence

Q fixée à la charpente *y* du bâtiment, et passe également au travers d'une roue S filetée intérieurement et montée folle sur le manchon T. La roue S engrène avec un pignon R dont l'arbre V traverse la potence Q et peut être mû par un volant a main Z.

La fabrication du carbure de calcium par le four électrique est une opération simple. Un ouvrier remplit d'abord le creuset en versant par l'orifice E un mélange de chaux en poudre et de coke concassé puis broyé au cylindre. L'ouvrier chargé de la conduite du four, protégé du rayonnement de la chaleur par un écran H en mica, se tient en permanence à côté du volant Z ; il a devant les yeux, fixés sur la charpente, *y* un voltmètre et un ampèremètre placés dans le circuit électrique du four. Lorsque le creuset est rempli, il abaisse progressivement l'électrode de charbon D en tournant le volant Z, de maniére à échauffer la masse et à former ensuite un arc entre la barre de charbon et la matière contenue dans le creuset.

On voit le charbon devenir rouge sur presque toute sa longueur, tandis qu'une grande flamme blanche s'échappe par l'orifice de chargement E du four. L'ouvrier règle la position de l'électrode d'après les indications de l'ampéremètre et surtout du voltmètre. Il juge de l'état de la réaction par la grandeur et la couleur de la flamme. Lorsque la réaction est près d'être terminée un ouvrier débouche le trou de coulée pendant qu'un autre ouvrier recharge le creuset par l'orifice E. La carbure fondu s'échappe en un jet incandescent qui se répand dans la cuve C et s'y refroidit pendant la coulée. L'électrode reste plongée dans le creuset et par conséquent le courant n'est pas interrompu. La marche du four est donc continue, mais on procède par charges et coulées successives. On fait une coulée toutes les 40 minutes environ. Si la fabrication du carbure acquiert un certain développement on étudiera des dispositifs de chargement automatique permettant de rendre l'opération tout à fait continue et d'augmenter la quantité de matière produite par jour.

Chaque four peut donner actuellement 300 kilos de carbure environ par jour si on le fait fonctionner pendant 24 heures. Mais les demandes de carbure n'étant pas encore bien fortes, on se contente à présent de faire marcher 2 fours pendant les heures de jour. On produit ainsi à Froges environ 300 kilos de carbure par jour. Si les débouchés du carbure augmentent l'usine pourra, en faisant travailler ses 2 dynamos de 500 chevaux pendant 24 heures chaque jour et en mettant en marche 6 fours et même davantage, produire une quantité de carbure très grande. Enfin si la puissance de l'usine de Froges devient insuffisante la fabrication du carbure sera transportée à La Praz où la Société possède des chutes de 10000 chevaux non encore inutilisées.

Les électrodes en charbon employées dans les fours électriques, soit à aluminium, soit à carbure, étant portées au rouge par le passage du courant s'usent très vite, et le renouvellement des électrodes formera même une proportion notable dans le prix de revient du carbure. La *Société électrométallurgique française* fabrique elle même dans une petite usine située au Champ, à 1 kilomètre de Froges, les nombreuses barres de charbon dont elle a besoin pour ses fours à aluminium et à carbure.

Le carbure de calcium est un corps solide, noirâtre, de densité égale à environ 2,22, présentant une forte odeur aliacée, odeur d'acétylène provenant d'une décomposition superficielle de la matière qui se produit en présence de l'humidité de l'air, en même temps que le carbure se ternit et se recouvre d'une couche blanchâtre de chaux. L'aspect physique du carbure varie suivant le procédé de fabrication. Celui de M. Bullier, produit par les procédés Moissan, est très dur et montre une cassure parfaitement cristalline à reflets bruns mordorés. Le carbure de Neuhausen est un peu moins dur et offre une texture plus fine, quoique bien cristalline. Quant au carbure de Froges, il est plus friable que les précédents et présente une texture beaucoup plus grenue.

Le carbure de calcium obtenu au four électrique renferme peu d'impuretés proprement dites. Mais on trouve quelquefois des parcelles de chaux et surtout de graphite emprisonnées dans la masse et jouant le rôle de corps inerte.

Le carbure de calcium, comme d'ailleurs beaucoup d'autres carbures des métaux terreux et alcalino terreux, possède la propriété curieuse d'être décomposée par l'eau à la température ordinaire et sans l'aide d'aucun artifice de préparation, en acétylène gazeux et hydrate de chaux précipité, d'après la réaction.



$$CaC^2 + 2H^2O \quad CaOH^2 + C^2H^2.$$

C'est cette propriété qui est utilisée pour la fabrication industrielle de l'acétylène.

La théorie indique que 1 kilog de carbure, mis en présence de 642 gr d'eau, donne naissance à 114 grammes d'hydrate de chaux et à 500 grammes d'acétylène représentant un volume de gaz de 342 litres et à la pression de 760 mm. Cette réaction donne lieu à un dégagement de chaleur assez notable.

Au début de la fabrication le carbure de calcium renfermait beaucoup de charbon non décomposé et donnait un mauvais rendement, ne dépassant pas 180 à 200 litres par kilog. A présent que la fabrication est devenue régulière le rendement s'est amélioré beaucoup et l'on peut compter que 1 kilog de carbure produit en moyenne 300 litres de gaz acétylène ; c'est le chiffre garanti par tous les fabricants et qui est même souvent dépassé.

Il n'existe pas encore de grands appareils de production d'acétylène. Mais tous les appareils générateurs employés, quelle que soit leur dimension, sont tous très simples et basés sur le même principe, soit faire arriver de l'eau dans un vase contenant des morceaux de carbure, soit plonger un récipient perforé renfermant des morceaux de carbure dans un vase contenant de l'eau.

L'acétylène produit dans l'appareil peut être soit brûlé directement à la sortie du générateur, soit emmagasiné dans un gazomètre ou autre réservoir, sous une pression variable à volonté entre quelques centimètres d'eau et la pression de liquéfaction. En effet le gaz acétylène lorsqu'on l'envoie, au sortir du générateur, dans un espace clos se comprime sur lui même sans l'aide d'aucune pompe et peut même être liquéfié de cette manière.

Si l'on verse de l'eau dans un flacon de Wolf contenant un morceau de carbure on réalise un générateur d'acétylène primitif qui devient même une lampe à acétylène si l'on allume le gaz à l'extrémité du tube de dégagement.

L'appareil classique connu sous le nom de briquet à hydrogène constitue également un générateur très simple et dans lequel la réaction est dans une certaine mesure proportionnelle à l'emmagasinement ou à la consommation du gaz. L'idée a été utilisée par M. Trouvé dans sa lampe portative parue à l'automne dernier.

L'appareil Trouvé se compose d'un flacon ou récipient extérieur en verre A, (fig. 2) contenant de l'eau, au fond duquel repose un vase B percé à sa partie inférieure d'un trou *m*. Un panier C en tôle métallique contenant 400 grammes de carbure de calcium est suspendu à un plateau D dans l'intérieur du vase B. Le plateau D est fixé à l'extrémité d'un tube creux E, servant à l'échappement du gaz. Ce tube E est fixé après une armature métallique H montée sur le flacon extérieur A. La lampe portative est obtenue en montant sur le tube E un robinet à clef R et en fixant à son extrémité supérieure un bec à gaz en stéatite F à fente très fine.

S'il s'agit d'emmagasiner le gaz acétylène au lieu de le brûler immédiatement, M. Trouvé se sert d'un générateur simple semblable à celui de la lampe, mais portant une armature H et un robinet R sans ornement. Au lieu de mettre un bec à l'extrémité du tube de dégagement E on y adapte un tube de caoutchouc relié à un gazomètre de 100 litres.

Théoriquement le fonctionnement du générateur est réglé automatiquement d'après

l'échappement du gaz. Au début de l'opération, l'eau du vase A ayant pénétré par l'orifice *m* est montée dans le vase B au même niveau que dans le vase A. Le carbure de calcium du panier C étant baigné par l'eau donne naissance à du gaz acétylène dont la pression refoule l'eau du vase B, si le robinet R est fermé. Lorsque le niveau de l'eau P est

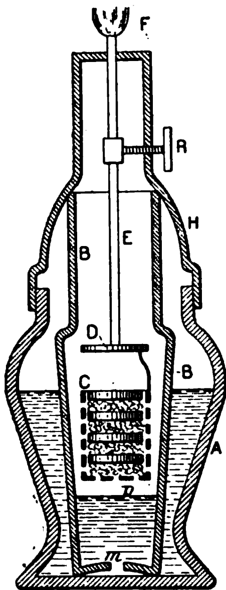


Fig. 2.— Appareil Trouvé pour la préparation continue de l'acétylène.

descendu ainsi au-dessous du panier C la production d'acétylène doit cesser. Si l'on ouvre le robinet R et qu'on laisse le gaz s'échapper par le brûleur F, la pression dans l'intérieur du vase B diminue, le niveau de l'eau s'élève et le panier de carbure C se trouve baigné plus ou moins complètement suivant que la pression est plus ou moins forte. La plus grande partie de l'eau mélangée au gaz se condense sur le plateau D ; un système de trous en chicane est disposé dans le tube E pour arrêter le restant de l'eau entraîné.

En réalité, malgré la précaution prise de placer dans le panier C le carbure en couches minces séparées par des rondelles de verre, la production de l'acétylène ne cesse pas lorsque le panier n'est plus baigné par l'eau. Les particules d'eau dont sont imprégnés les morceaux de carbure, et même les simples vapeurs émises par la masse d'eau, suffisent pour provoquer un dégagement lent d'acétylène qui continue jusqu'à ce que tout le carbure soit transformé en chaux.

Par conséquent, si le générateur fait partie d'une lampe portative, il faut, pour avoir une pression à peu près constante, ne mettre le carbure qu'au moment d'allumer puis faire brûler la lampe jusqu'à ce que le carbure soit entièrement épuisé. Si on laisse la lampe trop longtemps au repos le générateur une fois chargé, le gaz s'accumule d'abord dans l'appareil et acquiert une pression très forte qui produit plus tard une irrégularité de la flamme ; ensuite, la lampe n'ayant pas des joints hermétiques, le gaz acétylène s'échappera en quantité notable dans l'atmosphère.

Cet inconvénient du générateur disparait si l'on se contente de recueillir le gaz dans un gazomètre parce que alors on charge l'appareil seulement au moment de s'en servir et qu'on le laisse marcher jusqu'à ce que le gazomètre soit rempli. Dans ce cas le modèle de briquet à hydrogène construit par M. Trouvé, peut être employé utilement de préférence à un simple flacon de Wolf, parce que le phénomène qui se passe dans le briquet empêche l'attaque du carbure, d'être tumultueuse et rend la production du gaz modérée et plus régulière.

MM. Ducretet et Lejeune possèdent en construction un générateur d'acétylène dans lequel l'arrivée de l'eau qui tombe sur le carbure de calcium est réglée automatiquement de manière à produire du gaz à une pression constante, que l'on peut faire varier dans de très larges limites.

L'appareil générateur de M. Bullier, qui sert en ce moment à faire des essais d'éclairagé d'acétylène dans les Compagnies de Chemins de fer, se compose d'un générateur proprement dit, d'un refrigérant et d'un dessicateur. Le dessicateur est formé par deux cylindres en laiton R_1 R_2 (fig. 3), contenant de la laine de verre et de la chaux vive. Le refri-

gérant se compose d'un serpentin en fer P, plongé dans un récipient N rempli d'eau, et portant une chambre de condensation S. Le générateur proprement dit est constitué par un récipient ou grosse bouteille en tôle d'acier A, de 0,75 m de haut et 0,60 m de diamètre, fermé par un couvercle boulonné B, et portant une bouche latérale L fermée par une plaque à étrier, un tuyau de purge V et une tubulure de dégagement G avec robinet T et chambre de condensation J. Dans l'intérieur de la bouteille A, plonge un panier en zinc

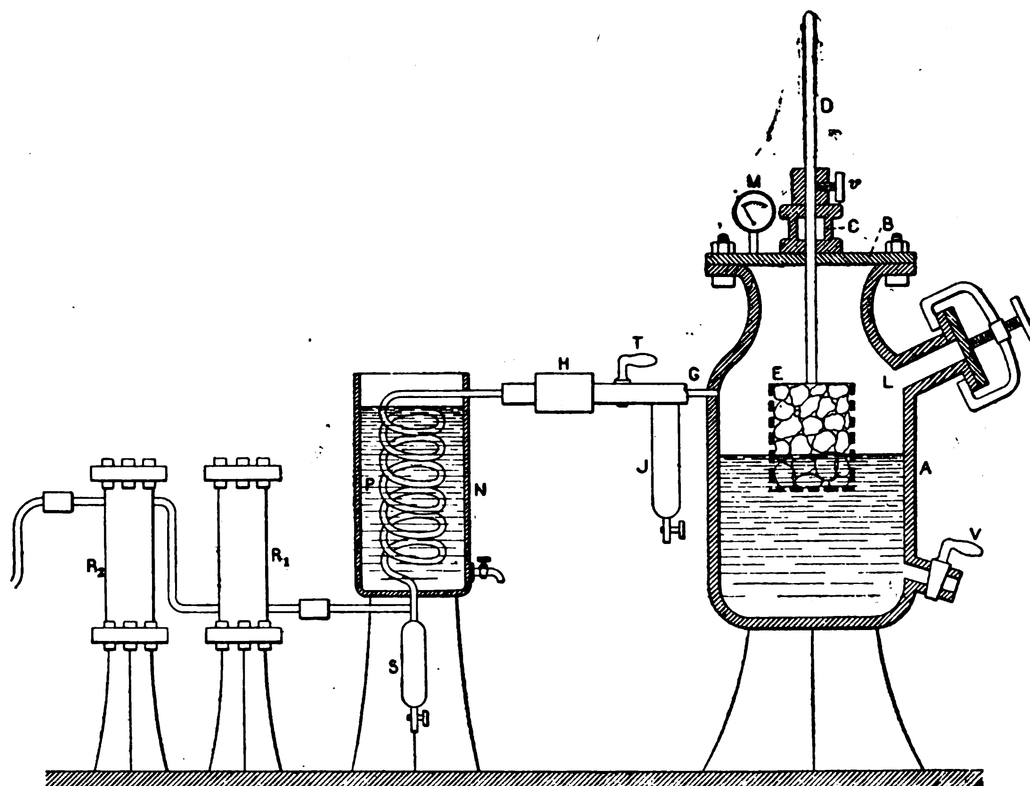


Fig. 3.— Appareil générateur d'acétylène Bullier.

perforé E suspendu à l'extrémité d'une tige D, qui passe au travers du presse-étoupes C du couvercle et peut être élevée ou abaissée, puis fixée dans une position déterminée par le serrage du collier *v*.

Le panier E, qui peut contenir 5 kg environ de carbure de calcium, ayant été rempli et l'eau ayant été versée dans le vase jusqu'au niveau de la bouche L, on commence par purger l'ensemble de l'appareil, précaution indispensable pour éviter les mélanges de gaz et d'air qui pourraient détoner. Pour cela, on a soin de soulever au préalable le panier, de manière à ce qu'il soit entièrement hors de l'eau ; on ferme le robinet T et l'on introduit par la bouche L 2 ou 3 gros morceaux de carbure qui tombent dans l'eau et produisent un dégagement rapide d'acétylène. Lorsque la pression est montée à 3 kg au manomètre M, on ouvre le robinet T ainsi que l'extrémité du tuyau de chargement adapté à la sortie du réfrigérant R_1 et on laisse le gaz s'échapper dans l'atmosphère, en entraînant l'air contenu dans le générateur, le réfrigérant, les dessicateurs et le tuyau de chargement. Au bout de quelques minutes, l'acétylène étant presque entièrement dégagé, la pression tombe à 1 kg ; on visse alors le tuyau de chargement sur le réservoir à remplir, on ferme le robinet T et le générateur est prêt à fonctionner.

On enfonce alors peu à peu la tige D, de

façon à ce que le panier E s'enfonce de plus en plus dans l'eau et produise une attaque progressive de carbure.

La température s'élève assez fortement à l'intérieur du générateur et le gaz qui se dégage par la tubulure G est chaud et entraîne avec lui beaucoup d'eau. Une portion de cette eau se dépose déjà dans la chambre J, le gaz traverse ensuite le réfrigérent P où il se refroidit et perd la plus grande partie de son eau qui tombe dans la poche S, les dernières parcelles d'eau sont absorbées dans les cylindres dessicateurs R_1 R_2 au sortir desquels le gaz est pratiquement sec.

La production du gaz n'est pas assez régulière pour que l'on puisse opérer la charge du réservoir d'une façon continue.

On procède par une série de petites charges successives, en fermant d'abord quelques minutes le robinet T et laissant monter la pression dans le générateur, puis en ouvrant le robinet T et laissant le réservoir en communication avec le générateur jusqu'au moment où l'on voit tomber la pression au manomètre. Ces diverses manœuvres rendent l'opération un peu longue. Le panier E du générateur Bullier peut contenir environ 5 kg de carbure et donner par conséquent 1 500 litres de gaz. L'opération complète, y compris le chargement, dure 25 minutes environ. Une bonne partie de ce temps est prise par le desserrage et le serrage des boulons du couvercle B. Cette manœuvre pourrait être considérablement abrégée par l'emploi de boulons à rabattement.

La conduite du générateur Bullier est très simple, mais elle demande une attention continuelle; si par accident le panier tombait au fond de l'eau et qu'on ne s'aperçut pas immédiatement de cette chute, le dégagement tumultueux de gaz ferait monter instantanément la pression à une valeur très élevée capable de provoquer l'explosion du générateur. Il paraît même qu'un accident de ce genre est arrivé dernièrement à l'étranger avec un appareil de construction analogue à celui de M. Bullier. Ce dernier doit construire prochainement un nouveau modèle de générateur comportant divers perfectionnements.

Il existe d'ailleurs un grand nombre de projets de générateurs d'acétylène présentant des dispositions plus ou moins compliquées, mais nous n'avons voulu parler que des appareils réellement construits et que nous avons vus fonctionner.

(*A suivre.*) CH. JACQUIN.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ (1)

Nos lecteurs savent avec qu'elle facilité et souvent quelle économie les transmissions électriques s'appliquent à l'actionnement des machines outils par groupes ou isolement,

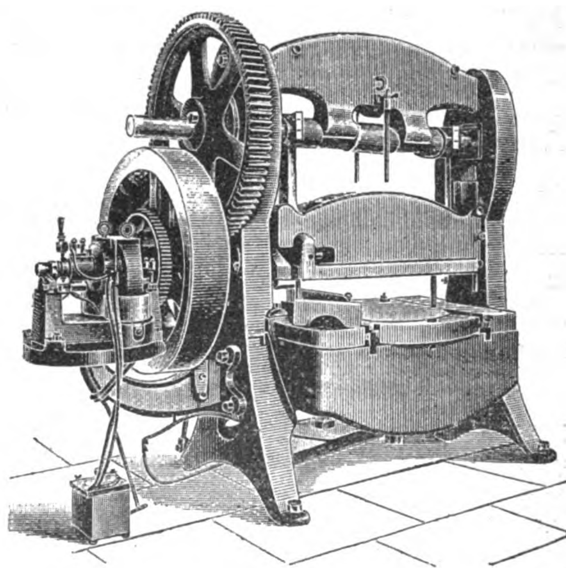


Fig. 1. — Poinçonneuse électrique *Crok.r Wheeler*.

ayant chacune sa dynamo, aussi cette application de l'électricité se répand-elle avec une grande rapidité principalement aux Etats-Unis. Elle présente, en dehors de ses avantages d'économie et de facilité, celui de permettre de se rendre aisément compte du travail dépensé par les machines outils : il

(1) *Éclairage Électrique* du 18 janvier 1896, p. 100.

suffit, en effet, de le relever sur l'ampèremètre de la dynamo qui les actionne. C'est ce qui vient d'être fait aux ateliers de Baldwin, à Philadelphie, par MM. Vauclain et Halsey, sur un certain nombre de machines outils actionnées, il est vrai, par des dynamos, mais pas aussi directement qu'on pourrait le faire en modifiant les machines outils en vue de cette commande au lieu de leur adapter simplement la dynamo. Le travail mesuré aux bornes de la réceptrice comprend donc la résistance propre de cette dynamo ajoutée à celles de la machine outil et de l'outil lui-même.

Voici quelques uns de ces résultats, des plus intéressants, dans lesquels on a désigné par A les ampères, V les volts aux bornes de

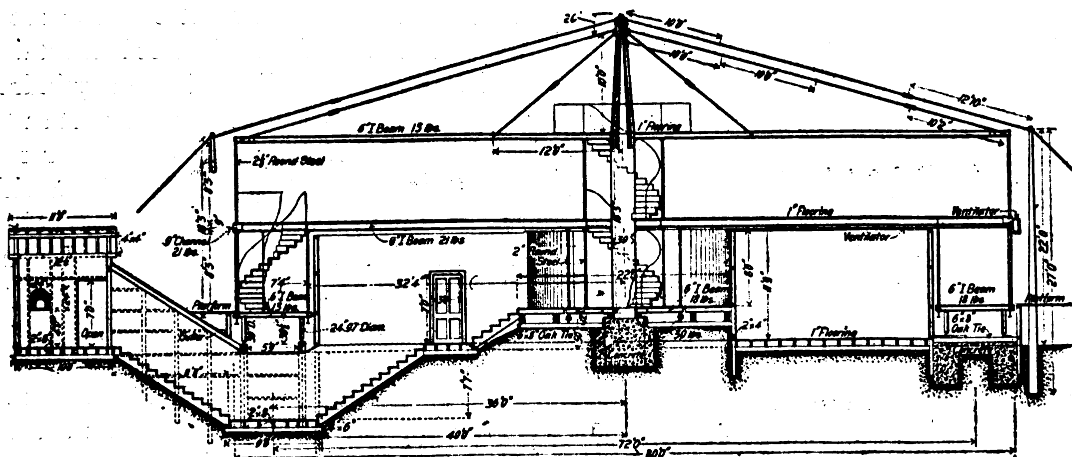


Fig. 2. — Pavillon tournant d'*Atlantic City*.

la génératrice, et par T la puissance en chevaux correspondante (¹).

Tours de roues.

Deux roues sur l'essieu attaquées simultanément.

1° Tour de 2,10 m de hauteur de pointe tournant des centres de roues en fonte.

	A	V	T
Coupe légère	10	220	2,9 ch.
Très forte	27	218	7,9 »
Moyenne			6,1 »

2° Tour de 2,10 m, tournant des centres de 0,82 m.

	A	V	T
Coupe de 13 mm de profondeur, avance 1,6 mm	13	238	4,2 ch.
Coupe de 13 mm de profondeur,	16	220	4,5 »
Coupe de 13 mm de profondeur, avance 2,4 mm	16	240	5,2 »
Coupe de 13 mm de profondeur,	17	237	5,4 »
Coupe de 13 mm de profondeur, avance 3 mm	19	228	5,8 »

(¹) *American Machinist*, 6 février 1896.

3° Tour de 2,10 m. tournant des centres de 1,42 m.

	A	V	T
A vide	5	230	1,5 ch.
Forte coupe sur la jante	20	230	6,2 »

Alésoir horizontal.

Alésoir de 2 m de portée, — type léger. Alésage à lame d'un centre de roue, — diamètre de l'alésage 175 mm.

	A	V	T
Coupe forte	15	234	4,7 ch.

Alésoir de 2 m. modèle puissant.

	A	V	T
Trou de 175 mm, forte coupe.	23	232	7,1 ch.
Dressage du moyeu, coupe de 13 mm. de profondeur	20	238	6,4 »

Alésoir pour cylindres.

Série d'alésoirs pour cylindres de locomotives de 460 mm de diamètre, menés par une transmission que commande une dynamo.

	A	V	T
Réceptrice seule	6	220	1,8 ch.
Réceptrice et transmission (*a*)			6,4 »

Un alésoir, coupe de 13 mm de profondeur 3 mm. d'avance .	70	190	18	»
Soit, déduction faite de (*a*) . .			12	»
Dressage des brides avec 2 outils	100	190	32	»
Soit net, déduction faite de (*a*).			26	»

Mortaiseuses pour longerons de locomotives.

A deux têtes d'outils, avec chacune un moteur indépendant. Résultats, pour un seul moteur.

A manivelle avec retour rapide, course 200 mm, travail du fer.

	A	V	T
Réceptrice seule	7	240	2,3 ch.
» avec machine à vide	10	225	3 »
Coupe forte.	28	220	83 »
» très forte.	35	220	10,3 »

A table de raboteuse avec renversement par courroies, deux porte-outils à moteurs indépendants.

	A	V	T
Réceptrice seule	7	240	2,40 ch.
Forte coupe	40	220	11,8 »
A vide, au moment du changement de marche	50	230	15,4 »

Mortaiseuse type normal, avec table de 300 mm de course, travail du fer.

	A	V	T
Réceptrice et contre arbre . . .	5	224	1,5 ch.
A vide.	5	230	1,5 »
Fortes coupes course de 300 mm.	15	220	4,4 »
» » » 200 mm.	20	188	5 »
» » » 100 mm.	20	224	6 »

Raboteuses.

Type Sellers nouveau, à retour 4 fois plus rapide que la course motrice — largeur 1,60 m. course 7,50 m.

	A	V	T
Réceptrice seule	7	240	2,3 ch.
» et contre arbre . . .	15	220	4,4 »
A vide, course avant.	35	235	11 »
» retour.	40	220	11,8 »
» au moment du changement de marche . . .	63	220	18,6 »
Coupe de 15 mm. avance 6 mm. 2 outils.	75	215	21,6 »

Raboteuse de 0,90 de large table de 3,60 m. travaillant du fer.

	A	V	T
Réceptrice et contre arbre . . .	10	200	2,7 ch.
A vide course avant.	12	210	2,4 »
» retour.	20	190	5 »
» au changement de marche	40	200	10,7 »
Coupe avec un outil	25	220	7,4 »
» deux outils.	49	210	13,8 »

On voit que la puissance absorbée par la réceptrice seule oscille entre 6 pour 100 de la puissance totale de l'outil, avec la mortaiseuse, et 22 pour 100 avec l'alésoir pour cylindres. La puissance absorbée par le moteur et sa transmission est, en moyenne, de 21 pour 100. La puissance absorbée par la machine à vide, de 25 pour 100 pour le tour, atteint, avec la raboteuse rapide de Sellers, près de 50 pour 100 du travail en pleine charge, et à peine 25 pour 100 avec la raboteuse de 0,90 m.

Dans les ateliers de Baldwin, la puissance totale des réceptrices est de 200 chevaux et celle de la génératrice de 100 chevaux seulement, son débit moyen est d'environ 80 chevaux.

La principale considération qui a déterminé les ingénieurs des ateliers Baldwin à adopter l'électricité a été l'avantage qu'elle présente de permettre, en supprimant les transmissions générales, l'établissement facile des grues et ponts-roulants qui manquaient à cet atelier ; les ingénieurs d'un autre atelier américain, celui de MM. W. Wharton and C[e], également à Philadelphie, ont été amenés à la même solution par la grande dispersion de ses machines qui rendait leur commande par les transmissions ordinaires aussi difficile et onéreuse qu'elle est simple et avantageuse par l'électricité. En outre, l'absence des transmissions y rend aussi beaucoup plus facile la manipulation des longues pièces, rails, croisements de voies etc, pour tramways, dont la fabrication constitue la spécialité de l'atelier. Chaque machine a sa dynamo, excepté celles de la fonderie et du modelage qui sont commandées par des transmissions locales à dynamos. Les machines à percer et à meules portatives ou mobiles du chantier reçoivent leur courant d'un trolly roulant sur des

câbles tendus au dessus du chantier, et qui permettent de transmettre la puissance électrique en tous les points de sa surface de 60 m × 75 m, et cela sans aucun encombrement.

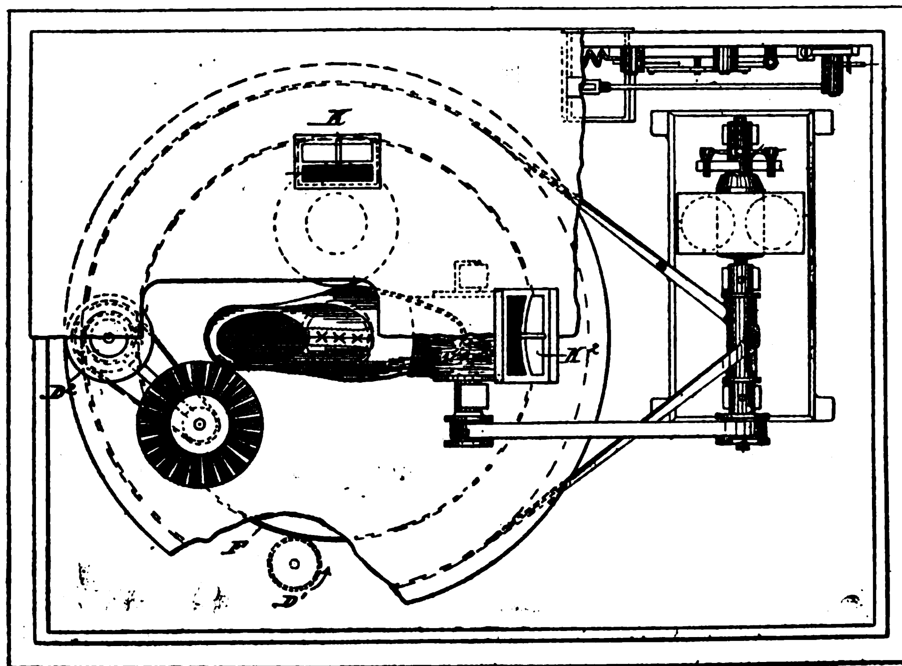


Fig. 3 à 7. — Cireur électrique *Heinze*, élévation, plan, détail des bacs à cirage.

ment. Les dynamos sont montées sur des wagonnets et actionnent leurs outils par des rbres flexibles (¹).

(¹) *American Machinist*, 13 février 1896.

L'atelier de la *Crooker Wheeler Electric C°* a tout naturellement donné le bon exemple et marche entièrement à l'électricité; les machines outils y sont divisées en deux classes:

les anciennes, groupées sur de petites transmissions locales actionnées par l'électrité et les nouvelles, spécialement modifiées à cet effet, commandées directement par leur dynamo. Une circonstance particulière, et certainement imprévue, vint donner, à l'avantage que procure en général la mobilité des transmissions électriques, une importance exceptionnelle. Un incendie ayant détruit l'atelier, on put d'abord airefonctionner .es nouvelles machines sous un abri temporaire, puis, une à une, à leur place définitive, à mesure qu'on les installait dans les nouveaux bâtiments ; on put ainsi augmenter la production de l'atelier de 20 pour 100 malgré l'arrêt de 3 mois occasionné par l'incendie.

Une seule machine Corliss de 150 chevaux fait l'éclairage et fournit la force motrice au moyen d'une dynamo de 80 kilowatts par des canalisations permettant d'isoler facilement les différentes parties de l'atelier. L'ensemble des machines-outils exigerait une puissance de 100 chevaux, tandis que la puissance moyenne en marche normale n'est que de 25 chevaux.

La figure 1 représente l'une des machines ainsi actionnées directement par l'électricité.

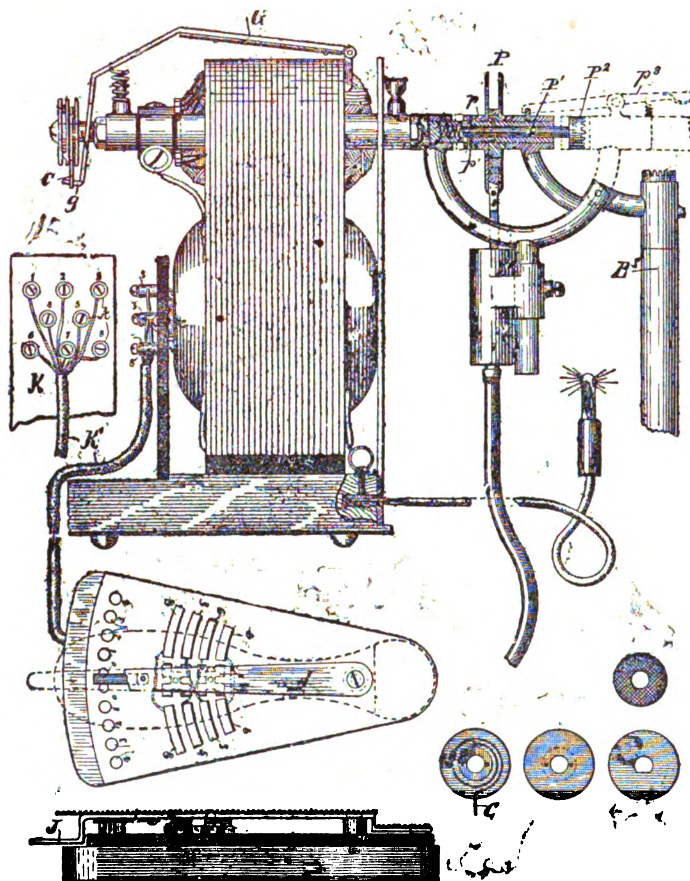


Fig. 8 à 16. — Dentiste électrique *Crowdus*.

Les applications de l'électricité aux *tramways et aux chemins de fer* se sont développées, aux Etats-Unis, avec tant d'ampleur et de variété qu'il n'est pas étonnant de voir les Américains recourir à cet agent pour la réalisation de gigantesque « chevaux de bois » analogue à celui que représente la figure 2 et qui est peut-être le plus grand du monde. Cet appareil, de 24 m de diamètre, se compose de trois plate-formes tournantes : une petite au rez de chaussée, et deux grandes aux étages supérieurs, montées sur pivot à billes, portées par deux voies : l'une monorail sur galets et l'autre, de 22 m de diamètre, à deux rails écartés de 1,80 m, avec trucks à roues de 630 et 760 mm de diamètre, pour réaliser la connexité voulue. Ces roues sont au nombre de 16 paires, dont quatre motrices actionnées chacune par une dynamo de 15 chevaux, soit, en tout, 60 chevaux, qui prennent leur électricité par un trolly à la génératrice qui alimente en outre les 450 lampes à incandescence servant à l'éclairage du pavillon. On accède par un tunnel à la petite plateforme, dont la vitesse périphérique est assez lente, puis, de là, par un escalier tournant, aux plateformes supérieures dont la vitesse périphérique est de 16 kilomètres à l'heure. Poids

total du pavillon 58 tonnes; il fait en ce moment la joie d'Atlantic City, New Jersey, et la

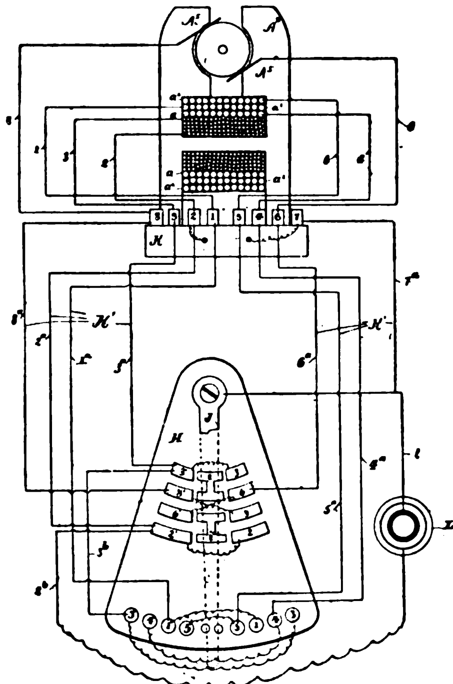


Fig. 17. — Dentiste électrique *Crowdus*, schéma des circuits.

gloire de son ingénieur, M. C. M. Clarke, de Pittsburg (1).

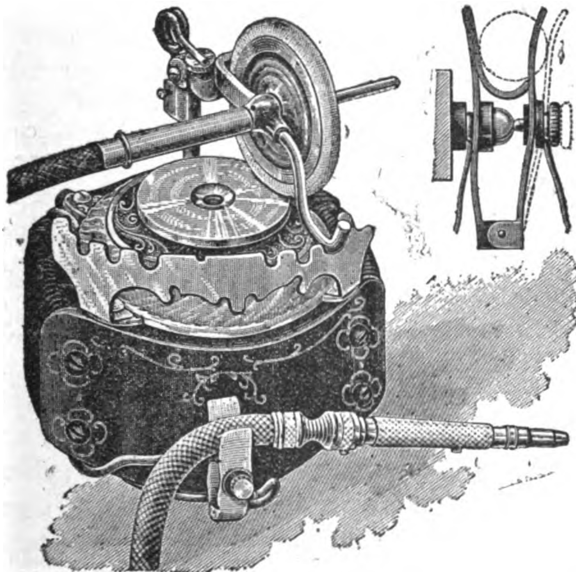


Fig. 18 et 19. — Dentiste *Wheeler*, ensemble de la la machine et détail du crochet de l'outil.

Après les chevaux de bois, voici la concurrence au nègre chargé, d'un bout à l'autre de la libre Amérique, de cirer les bottes du blanc, pour qui cette occupation serait un déshonneur évidemment. M. *J. O. Heinze*, de Lynn,

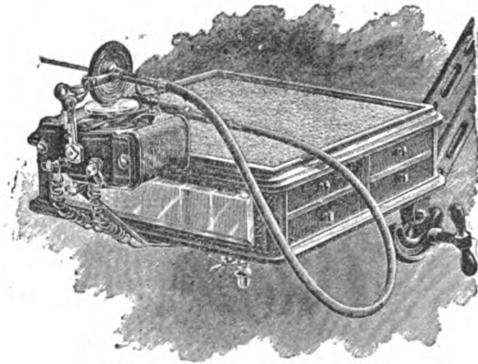


Fig. 20. Dentiste *Wheeler*, monté sur une table.

Massachussetts, a récemment proposé de réduire considérablement le travail du nègre, ou

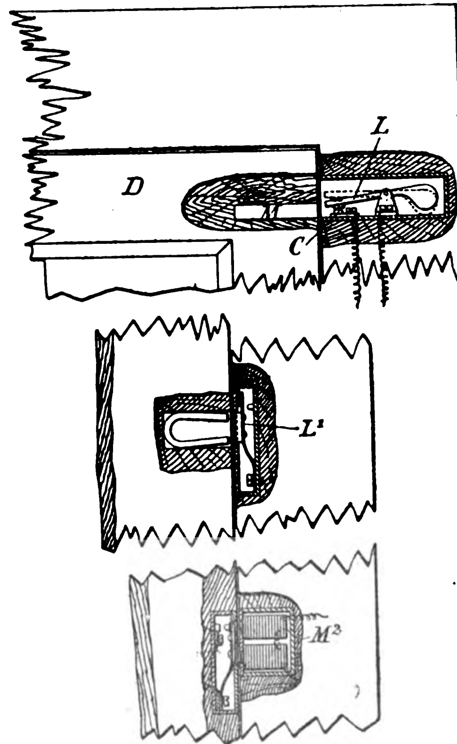


Fig. 21 à 23. — Avertisseur *Siemens* et *Jacob* (1893).

même de le supprimer, tout en l'accélérant par le procédé indiqué sur les figures 3 à 7. Il suffit de placer une pièce de monnaie en M pour

(1) *Engineering News*, 16 janvier 1896.

que la dynamo fasse tourner autour de son axe fixe B′ la plateforme C, par une courroie qui entraîne en même temps, autour de cet axe B′, par son galet D, appuyé sur le plateau fixe F, l'axe D, dont la poulie D_2 commande la brosse E, pivotée sur D_1, par un bras D_2. Il en résulte que la brosse E fait tout le tour du soulier posé sur B, en s'y appuyant automatiquement avec une pression réglée par celle de D′ sur F. Un piston G_2, enduit de cirage G_1, alimente la brosse à son passage devant lui. Après cette opération, on pose le pied en G sous la seconde brosse J, à cirage K_1, qui active la toilette. Un levier Q permet d'arrêter à volonté la machine.

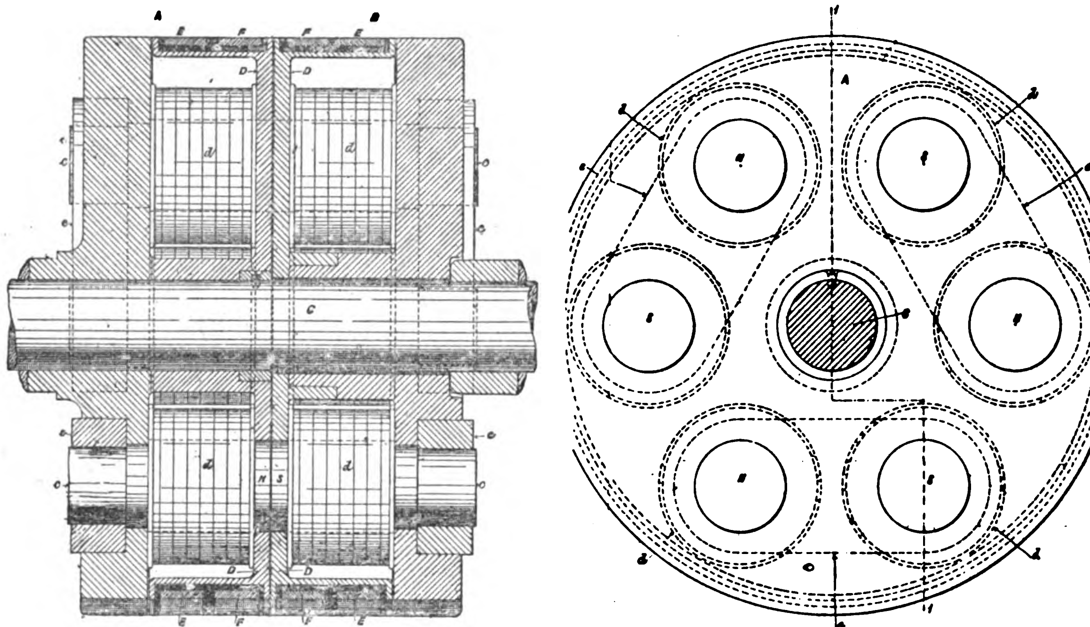


Fig. 24 et 25. — Embrayage électromagnétique, *Brisey* (1894), coupe *f e* et vue par bout.

On sait que l'on fait, aux Etats-Unis, une consommation de dentistes véritablement prodigieuse ; les machoires atificielles s'y rencontrent partout, jusque dans les villages les plus isolés de la grande Union; aussi, l'art dentaire s'y est-il développé, ou du moins vulgarisé, plus que partout ailleurs, et on a eu tout naturellement recours à des moyens mécaniques pour actionner la foule des petits outils : marteaux, râpes, fraises, forets de toute sorte qui composent là-bas l'arsenal horripilant du grand opérateur. Ce fut d'abord l'air comprimé, puis l'électricité. Les figures 8 à 17 vont nous permettre d'expliquer avec quelque détail la marche d'une de ces dynamos pour dentistes étudiée par M. *W. A. Crowdus*, ingénieur de la *Turney Electric Manufacturing C°*, de Chicago, qui s'est acquis un bon renom en ces matières.

L'arbre attaque, quand les pièces occupent les positions indiquées sur la figure 8, au moyen d'un embrayage *p p′*, un excentrique P, qui fait fonctionner la pompe à air comprimé du marteau plombeur. Quand on relève, au contraire, la pièce B_3, qui porte un foret, dans la position indiquée en pointillés, et qu'on l'y assujettit, par un loquet p_1, la griffe P_2 de B_2 s'enclanche avec celle P_1 de la tige P′, qu'elle repousse, de manière à la débrayer, en *p p′*, de l'excentrique P qui s'arrête.

En outre, dès que l'on supprime le courant à la dynamo, le levier G, cessant d'être attiré par les pôles de l'inducteur, prend la position indiquée sur la figure de manière que le res-

sort c, entraîné à frottement par l'arbre de la dynamo, l'arrête sans choc puis l'immobilise jusqu'à ce que G, attiré de nouveau, lui rende sa liberté.

Le courant qui actionne la dynamo peut être commandé par une pédale J, de la manière indiquée sur le schéma figure 17, de manière à permettre d'en graduer la puissance et d'en renverser la marche.

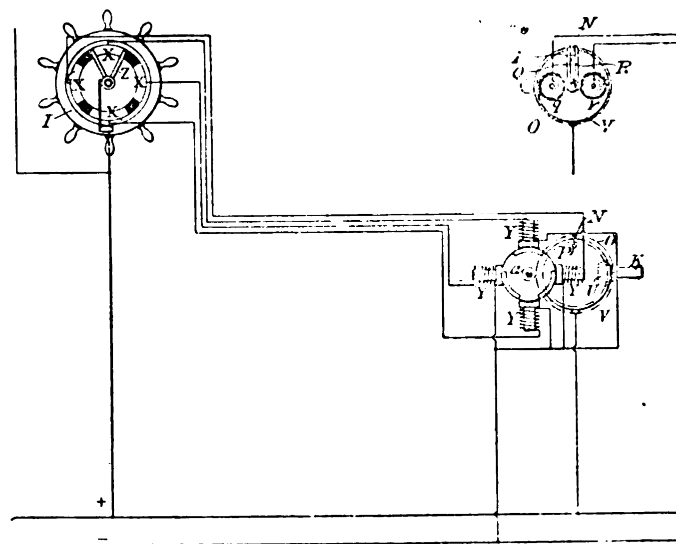


Fig. 26 et 27. — Gouvernail électrique *Siemens* et *Grimston* (1895), transmetteur et interrupteur.

Quand la pédale J est sur la borne 1 de droite, le courant passe par l J 1 1' 1_a 1 $a'a'$, coupant l'enroulement inducteur a_1 du circuit; en arrivant en 4 I coupe du circuit les enroulements a et a_1; quand J arrive en 3, le courant passe par 3 3' 3^6 $3'$ 3_a 3 et l'inducteur, pour revenir à la pile L par 2-2; de $3'$, ce courant traverse l'armature par ($3i$, 6, 6_a, 8, 8_a 8', c', 2, 2', 2 b).

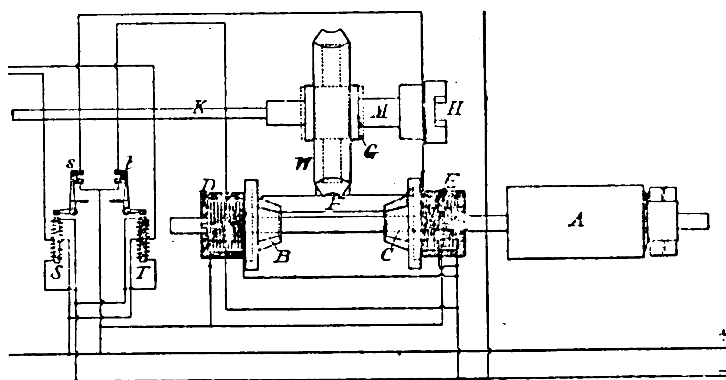


Fig. 28. — Gouvernail électrique *Siemens* et *Grimston* (1895) mécanisme moteur.

La dynamo marche alors à pleine puissance On voit facilement, qu'en faisant passer la pédale sur les touches de gauche 3' 8'... on renverse dans le même ordre de puissance la marche de la dynamo.

La machine dentaire de *Wheeler* représentée par les figures 18 à 20 est remarquable par son extrême simplicité. La dynamo verticale commande l'arbre flexible porte-foret par un plateau avec galet de friction, dont on fait varier la rotation en grandeur et en sens suivant que l'on engage son bras dans l'une ou l'autre des encoches indiquées en avant de la figure 18. En outre, l'arbre flexible se loge, au repos, dans une pince dont il écarte, par cela même, les bras de manière à rompre automatiquement le circuit.

On a souvent appliqué l'électricité à signaler l'ouverture ou la fermeture d'une porte par exemple comme protection contre les voleurs; le dispositif proposé à cet effet par MM. *Siemens* et *Jacob* présente (fig. 21 à 23) l'avantage de ne se dénoncer par aucun signe extérieur. En figure 21, la porte D est pourvue d'un auvent M, qui, dès qu'on l'ouvre, lâche son armature G, également bien abritée et cachée dans le cadre de la porte, et ferme le circuit du contact avertisseur. Ce levier peut être, comme en figure 22 remplacé par un ressort L_1, et enfin (fig. 23) l'on peut intervertir les posi-

tions de l'armature et de l'aimant ou de l'électroaimant M_1.

L'*embrayage électromagnétique* de *Bersey* se compose de deux plateaux en bronze A et B, l'un moteur A, fou sur l'arbre C, et l'autre B, rainuré sur cet arbre, avec couvercles en bronze D D et électro-aimants N J, recevant leurs courants des collecteurs E E. L'attraction est maxima au passage des pôles de A devant ceux de B, qui finissent par être entraînés après un certain glissement initial.

Le *gouvernail électrique* très simple de *Siemens* et *Grimston* représenté par les figures 26 à 29, se compose de quatre parties : le transmetteur (fig. 26), le commutateur ou interrupteur (fig. 27), le mécanisme moteur (fig. 28) et l'indicateur (fig. 29).

La manette I du transmetteur entraîne avec elle un double bras bifurqué *z*, disposé de manière qu'il puisse porter, par un ou deux bras, sur l'un des quatre contacts *x*, ou

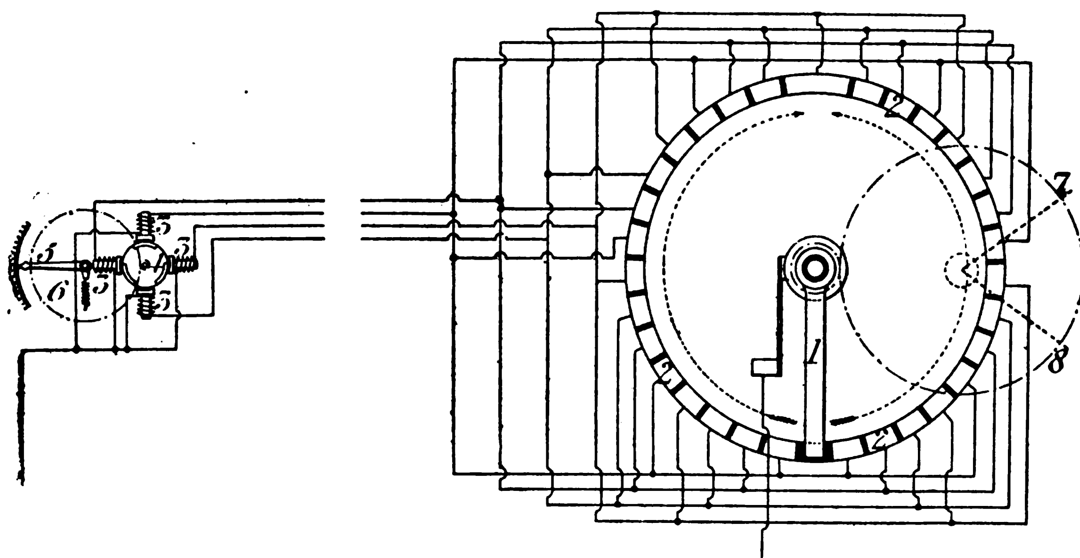


Fig. 29.— Gouvernail électrique *Siemens et Grimston*, détail de l'indicateur.

à la fois sur deux de ces contacts, qui sont reliés à quatre électroaimants Y, disposés radialement autour d'une armature à trois pôles *a*. On peut ainsi exciter l'un quelconque de ces électroaimants ou deux aimants adjacents, de manière à déterminer, suivant la position de *r*, huit positions de *a*. Cette armature commande une roue V, dont le taquet P (fig. 28) entraîne deux bras Q et R, pivotés sur l'axe de V, et sans cesse ramenés, par les ressorts *q* et *r*, au contact d'un second taquet N, monté sur un disque O, fou sur l'axe de V, et relié au pôle + du circuit. Il en résulte que chaque mouvement de *a*, dans un sens ou dans l'autre, rompt le contact de Q ou de R avec N, et comme ces bras ferment les circuits d'opposition de deux électroaimants S et T (fig. 28) constamment reliés d'autre part au courant, on voit, qu'en temps normal, quand N ferme les deux contacts Q et R, S et T sont inertes, et que l'un ou l'autre de ces électros entre, au contraire, en jeu par la suppression de son circuit d'opposition, dès que *a* rompt l'un de ces contacts. Cette action a pour effet de fermer en *s* ou en *t* le circuit antagoniste de l'un des deux embrayages électriques E ou D, de manière à faire entraîner, au moyen de la dynamo A, toujours en marche, l'arbre H du gouvernail dans un sens ou dans l'autre, par C F W ou par B F W. Le prolongement K de l'arbre du gouvernail commande par U (fig. 26) le plateau O qui,

ramenant N à sa position primitive, rompt le circuit de l'embrayage D ou E, et arrête le

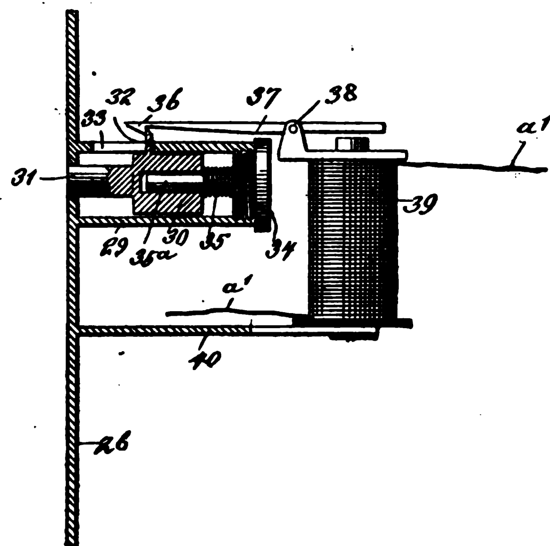


Fig. 30. — Cible électrique *Schifferdecker* (1894) détail d'un volet.

mouvement comme un servo-moteur du gouvernail, après qu'il a décrit l'angle correspondant au pivotement de I, en grandeur et en direction.

L'indicateur, qui permet de reproduire les

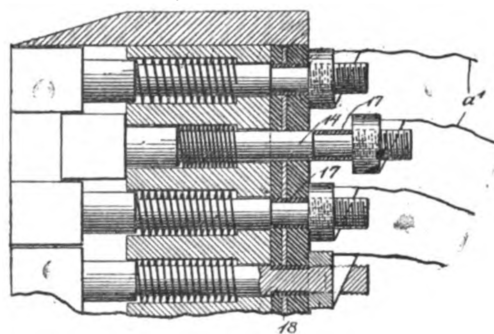


Fig. 31. — Cible électrique *Schifferdecker* détails, des touches.

mouvements du gouvernail en un point quelconque du navire, se compose d'un bras I (fig.

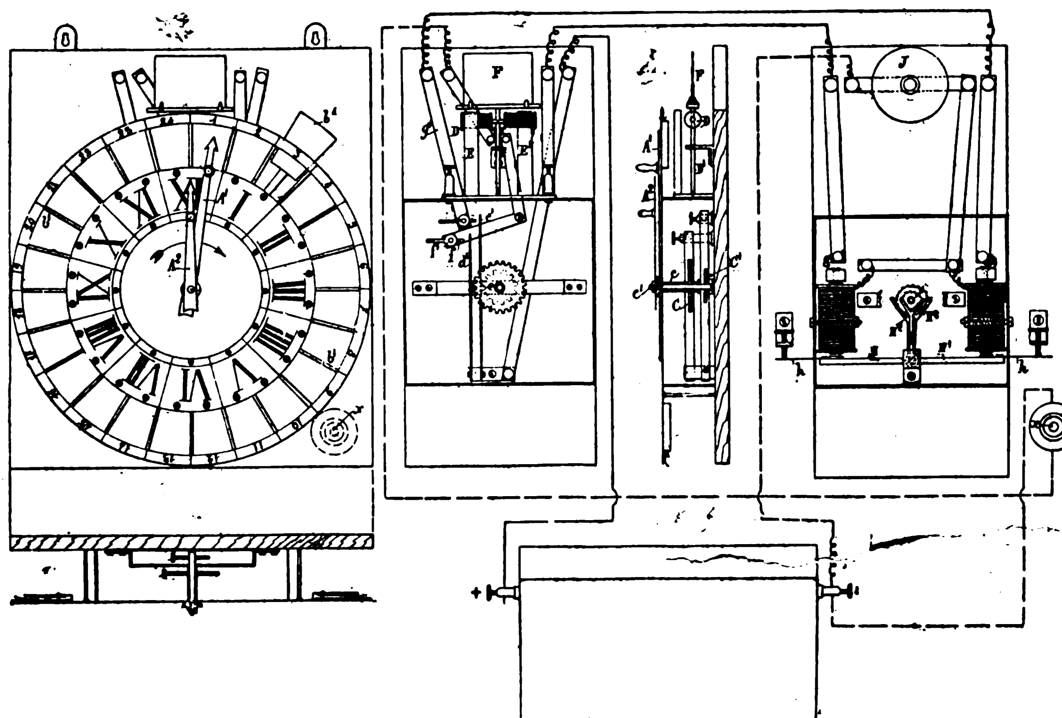


Fig. 32 à 35. — Transmetteur d ordres *Boudet* et *Lacombe* 1894.

29) commandé par un gouvernail, et dont les touches 2 correspondent à des électros 3 disposés comme ceux *y* des transmetteurs, de manière qu'ils répètent, sur le quadrant 6 de

l'aiguille 5, les mouvements du gouvernail dans l'angle 7-8. Chaque fois que le bras I passe sur une touche isolente, un ressort ramène 5 au zéro.

La *cible électrique* de M. *Schifferdecker* se compose (fig. 30 et 31), au but (fig. 31) d'un certain nombre de fiches reliées par des fils *a* à autant de piles dont l'autre pole est relié à la lame 18, ordinairement isolée des fiches par les douilles 17. Dès qu'une balle frappe l'une des fiches, elle la repousse malgré son

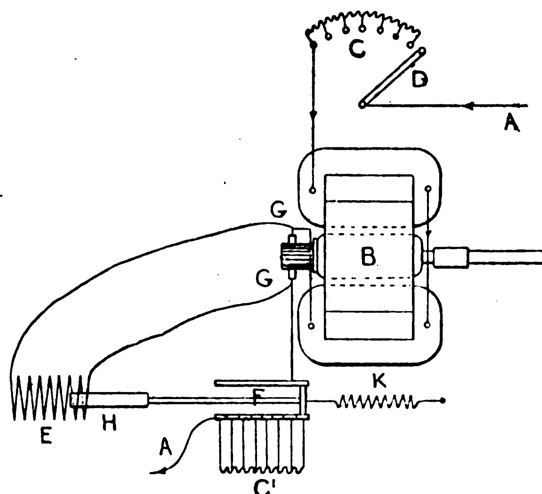


Fig. 36. — Mise en train *Rawenshaw* (1895).

ressort de manière à fermer le contact sur la plaque 18 par la partie 14 de la fiche. Cette fermeture excite l'électro correspondant 39 (fig. 30) d'un tableau placé près des tireurs, et reproduisant les divisions de la cible, de sorte que l'armature 38 lâche son piston, dont la saillie, sous la poussée de son ressort, indique aussitôt le coup.

Le quadrant du transmetteur d'ordres de MM. *Boudet* et *Lacombe* porte deux séries de divisions l'une, fig. 32-35, avec douze chiffres romains, l'autre avec 24 cases, dans lesquelles on enfile les plaquettes *b*, portant le libellé des ordres que l'on veut transmettre. Devant ce quadrant, se déplacent à la main deux aiguilles A_1 et A_2, calées l'une sur un axe *c* (fig. 34) dont le pignon C' porte 12 dents, et l'autre, A_2, sur la douille *e*, dont le pignon C porte 24 dents. Au passage de chacune de leurs dents, ces roues ferment, par les languettes *d'* et *e'* et sur les contacts ajustables *f* et *f'*, des circuits qui vont au récepteur par g_1, puis aux électroaimants D et D' quand on presse le bouton *x* pour annoncer au transmetteur que l'ordre envoyé à bien été reçu ; ces électros, pivotés sur D' et attirés par les barreaux E et E', font alors pivoter avec eux le voyant F de manière à donner cette indication.

Le récepteur se compose d'un quadrant semblable à celui du transmetteur, avec aussi deux aiguilles reliées respectivement aux circuits des lames *d'* et *e'*, et deux électros G et G' (fig. 35) dont les armatures H et H', à ressorts de réglage *h* et *h'* commandent, par deux cliquets H_1 et H_2, l'une le rochet à 12 dents de l'une des aiguilles, et l'autre le rochet à 24 dents de la seconde aiguille, correspondant ainsi aux pignons C_1 et C et aux aiguilles du transmetteur. — Enfin, un timbre J avertit au récepteur dès qu'il se met à fonctionner.

Il est nécessaire dans la plupart des applications mécaniques de l'électricité où il s'agit de commander une machine par une dynamo réceptrice, de prendre des précautions spéciales pour mettre en train et arrêter ces réceptrices sans chocs et sans s'exposer à les brûler. Le schema fig. 36 représente la disposition adoptée à cet effet par M. *Ravenshaw*. Elle consiste à placer dans le circuit de la réceptrice B des résistances C C_1, dont une partie seulement, C, peut être retirée par la manette D, pour la mise en train du moteur, dans lequel elle empêche d'envoyer un courant de démarrage trop violent. Une fois le moteur lancé, un solénoide E, en dérivation sur son armature par les balais G G_1, attirant son noyau HF, malgré le ressort K, avec une force d'autant plus grande que le moteur tourne plus vite, retranche peu à peu de son circuit les résistances de sûreté C_1, qui, à l'arrêt, se réintercallent automatiquement dans le cir-

cuit de manière à éviter, comme au départ, tout accident.

GUSTAVE RICHARD.

THÉORIE DE L'ÉLECTRICITÉ

FONDÉE UNIQUEMENT SUR L'EXPÉRIENCE ET LE RAISONNEMENT.

1. *But de cette note.* — La théorie des fluides électriques jouit encore d'une grande faveur dans l'enseignement et dans le langage des électriciens, en raison de sa commodité apparente pour l'explication des actions électriques. On lui reconnaît bien l'inconvénient d'être fondée sur des hypothèses, mais il est peut-être utile de faire ressortir combien ces hypothèses empêchent de comprendre la nature et le lien des divers phénomènes.

Ainsi la base de la théorie des fluides est une notion hypothétique désignée sous le nom d'*électricité*. Sous ce nom unique on confond en réalité deux notions très précises essentiellement distinctes, comme on le verra aux § 4 et 5 ci-après, et c'est grâce à cette confusion que l'on a attribué aux actions à distance une réalité physique qu'un expérimentateur comme Faraday n'a jamais aperçue.

D'autre part, on sait que l'hypothèse des actions à distance conduit à considérer l'énergie d'un champ électrique comme une énergie *potentielle* ou latente ne siégeant nulle part ; et c'est bien là l'idée qui a régné pendant longtemps, en dépit de l'expérience qui montre l'énergie électrique localisée dans les corps et s'y propageant avec une vitesse finie (§ 8). La notion de localisation de l'énergie électrique faisant défaut, il est impossible de comprendre la provenance de la chaleur dégagée dans les corps en vertu de la loi de Joule (§ 9), ainsi que les réactions qui en résultent et créent le champ, dit magnétique, du courant.

Ces exemples suffisent pour démontrer l'impuissance des hypothèses de l'ancienne théorie et la nécessité de leur suppression radicale. L'exposé suivant des phénomènes électriques est fondé uniquement sur l'expérience et le raisonnement [1]. Les principes généraux admis universellement en Physique comme bien établis expérimentalement y sont seuls invoqués.

Une étude sommaire des actions qui se produisent dans un champ électrique fournit la notion *capitale* de *l'intensité du champ*, qui est définie en chaque point, en grandeur et en direction, d'une manière aussi précise que la force l'est en Mécanique (§ 2).

L'expérience fournit encore la notion de deux coefficients spécifiques électriques des corps, auxquels on a donné les noms de *pouvoir inducteur* (§ 5) et *conductivité* (§ 6).

Les autres notions qui interviendront dans cet exposé (potentiel électrique, quantité d'électricité, intensité du courant, etc.) ne sont que des fonctions mathématiques des trois quantités : intensité h du champ, pouvoir inducteur k, conductivité c. Elles seront créées dans le but de simplifier l'énoncé des lois, jouant ainsi un rôle analogue à celui que jouent en Mécanique les notions de quantité de mouvement, de force vive, etc. créées dans le même but.

2. *Intensité du champ électrique.* — La notion expérimentale de l'intensité d'un champ électrique (appelée quelquefois *force électrique*) peut être considérée comme acquise depuis les expériences de Coulomb. D'après sa définition, une petite sphère électrisée S, placée en un point M d'un milieu isolant où existe un champ électrique, y subit une force f égale au produit de l'intensité h du champ en M par un coefficient d'influence Q propre à la sphère :

$$f = h\,Q. \qquad (1)$$

Dans un champ électrique quelconque, stable ou variable avec le temps, la donnée de l'intensité h, en grandeur et en direction,

[1] Cet exposé, en raison de sa brièveté, ne contient presque pas de démonstrations. On trouvera celles-ci dans ma *Théorie de l'Électricité*.

aux divers points suffit pour caractériser l'état électrique du champ dans toute son étendue ; et les lois dites de la distribution électrique ne sont autre chose que les lois auxquelles obéit la distribution de ce vecteur h. Les forces électriques d'origines diverses (électrostatiques, voltaïques, d'induction, etc.) imaginées dans la théorie des actions à distance sont simplement des composantes de l'intensité h, seul élément mesurable en un point ; c'est dire que le *principe de l'unité des forces électriques* est une création superflue.

3. *Lois de la distribution électrique dans un champ stable.* — *Dans un champ stable* (cas de l'électrostatique et des courants permanents) une étude expérimentale très simple permet de démontrer une première loi de la distribution électrique consistant en ce que l'*intensité h dérive d'un potentiel*. Cette loi sera complétée par une autre au § 10.

Le potentiel électrique est une fonction mathématique dont la valeur, en chaque point du champ, dépend de la distribution du vecteur h, mais n'est déterminée, comme on le sait, qu'*à une constante arbitraire près*. En un point *considéré isolément*, ce potentiel n'est donc pas un élément physique mesurable, comme l'intensité du champ ou comme la température ; ce n'est qu'un nombre dont le choix est arbitraire. Par contre la différence des potentiels de deux points A et B a une valeur parfaitement définie par l'intégrale bien connue :

$$V_A - V_B = \int_A^B h\, d\, s \cos(h, d\, s),$$

prise le long d'un chemin quelconque allant du point A au point B.

Dans un champ électrique variable avec le temps (cas de l'induction électromagnétique, etc.) on verra (§ 16) qu'*il n'existe pas de potentiel*. L'expression « différence de potentiel entre deux points » est alors dénuée de sens, quoiqu'elle soit encore d'un usage courant.

En résumé, *l'existence du potentiel électrique est la condition de stabilité du champ*.

4. *Masses électriques et masses vectorielles électriques.* — Le théorème suivant montre la nature du rôle fictif joué par les actions instantanées à distance en électricité :

« Quelle que soit la loi de distribution de l'intensité h aux divers points d'un champ électrique donné A, on peut calculer une distribution correspondante de masses électriques et de masses vectorielles électriques telle que, si ces masses agissaient à distance suivant les lois définies ci-après, elles créeraient un champ électrique identique au champ A. »

1° Chaque masse électrique m_1 est censée créer, en tout point M (fig. 1), une intensité h_1 de champ électrique dirigée suivant la droite m_1 M ($= r_1$) et égale à $\frac{m_1}{r_1^2}$ (loi de Coulomb). L'ensemble des masses m_1, m_2, m_3... créerait ainsi en M une intensité égale à la résultante ou *somme géométrique* des intensités h_1 h_2... créées par chacune d'elles ; cette résultante sera représentée par la notation :

$$\overline{h_1} + \overline{h_2} + \ldots\ldots = \frac{\overline{m_1}}{r_1^2} + \frac{\overline{m_2}}{r_2^2} + \ldots\ldots = \sum \frac{\overline{m}}{r^2}.$$

2° Une masse vectorielle électrique m_{v_1} appliquée en un point O_1 du champ (fig. 2) aura, par définition, une grandeur m_{v_1} et une direction $O_1 V_1$. Elle est censée exercer au point M une intensité H_1 de champ électrique, égale à $\frac{m_{v_1} \sin \theta_1}{r_1^2}$ et perpendiculaire au plan des droites O_1 M et $O_1 V_1$ qui font entre elles l'angle θ_1 (loi semblable à celle de l'action fictive d'un élément de courant sur un pôle d'aimant, due à Laplace). L'ensemble des masses vectorielles m_{v_1} m_{v_2}...créerait donc en M une intensité résultante égale à

$$\overline{H_1} + \overline{H_2} + \ldots = \frac{\overline{m_{v_1} \sin \theta_1}}{r_1^2} + \frac{\overline{m_{v_2} \sin \theta_2}}{r_2^2} + \ldots = \sum \frac{\overline{m_v \sin \theta}}{r^2}.$$

D'après le théorème, l'intensité h du champ donné A au point M est identique à l'intensité résultante du champ des masses fictives, c'est à dire que l'on a :

$$\overline{h} = \sum \frac{\overline{m}}{r^2} + \sum \frac{\overline{m_v \sin \theta}}{r^2}. \qquad (2)$$

Ajoutons que la distribution des masses se calcule par les formules

$$4\pi\rho = \frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z} \qquad (3)$$

$$4\pi\mu_x = \frac{\partial Y}{\partial z} - \frac{\partial Z}{\partial y} \quad 4\pi\mu_y = \frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{\partial X}{\partial z} \quad 4\pi\mu_z = \frac{\partial X}{\partial y} - \frac{\partial Y}{\partial x} \qquad (4)$$

dans lesquelles ρ désigne la densité de masse électrique au point (x, y, z) — μ_x, μ_y, μ_z, les composantes, suivant les axes de coordonnées, de la densité $\bar{\mu}$ de masse vectorielle électrique, — enfin X, Y, Z les composantes de l'intensité h.

Si dans la formule (2) on remplace les masses m et m_v par leurs expressions mathématiques ainsi calculées, *cette formule devient une identité mathématique,* qui n'a nul besoin de vérification expérimentale. C'est là un autre énoncé du théorème.

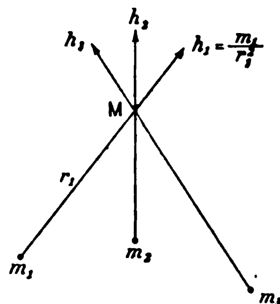


Fig. 1.

Dans le cas particulier d'un champ stable (électrostatique et courants permanents), comme il existe un potentiel (§ 3), les expressions (4) sont nulles, c'est à dire qu'il n'intervient pas de masses vectorielles. Alors la formule (2) se réduit à

$$\bar{h} = \sum \frac{\overline{m}}{r^2}. \qquad (5)$$

Dans cette formule (5) on reconnaît la *loi de Coulomb* relative à l'intensité h du champ créé par les masses électriques fictives. *Cette loi, établie ainsi, a toute la rigueur d'une identité mathématique, mais n'est pas une loi physique et n'explique aucun fait expérimental.*

Pour le cas général de l'état variable du champ électrique, divers savants (Gauss, Weber, etc.) ont tenté inutilement de l'expliquer par une généralisation de la loi de Coulomb, en imaginant une nouvelle action due au mouvement des masses électriques m_1, m_2.... La formule (2) montre que la vraie solution de ce problème consistait à imaginer au contraire des masses vectorielles électriques.

Toutes les propositions énoncées jusqu'ici sont indépendantes de la nature des corps. Nous allons maintenant étudier l'influence de ceux-ci.

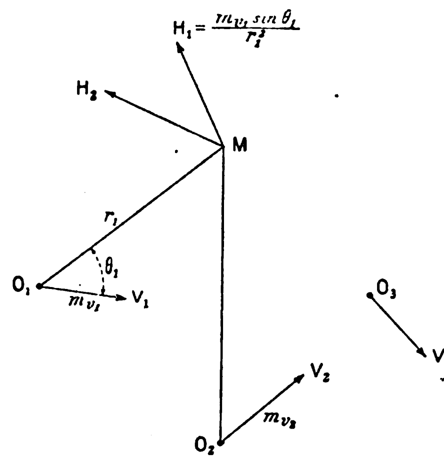


Fig. 2.

5. *Pouvoir inducteur électrique. Quantité d'électricité.* — Lorsqu'on répète dans certains milieux isolants les expériences de Coulomb relatives à l'action réciproque f de deux sphères électrisées S et S', on retrouve la loi connue :

$$f = \frac{1}{k} \frac{Q\,Q'}{r^2}, \qquad (6)$$

Q et Q' désignant les coefficients d'influence propres aux sphères S et S', r la distance de leurs centres, k un coefficient variable avec la nature de l'isolant et auquel on donne le nom de *pouvoir inducteur électrique* du milieu.

Lorsque la sphère S est portée successivement dans divers isolants, son coefficient Q, défini au § 2, reste invariable (loi expérimentale) et *caractérise son état d'électrisation.*

Nous appellerons Q *quantité d'électricité* du conducteur S. La notion de quantité d'électricité, ainsi définie dans un cas particulier, sera généralisée au § 10.

Considérons la force f de la formule (6) comme exercée sur la sphère S' par le champ électrique de la sphère S. D'après la relation (1), le quotient $\frac{f}{Q}$ est égal à l'intensité h de ce champ au point où se trouve S'; donc :

$$h = \frac{1}{k}\frac{Q}{r^2} = \frac{M}{r^2}. \qquad (7)$$

La comparaison des équations (5) et (7) montre que le coefficient M, égal à $\frac{Q}{k}$, est la *masse électrique* totale de la sphère S. *Cette masse* M *dépend non seulement de l'état d'électrisation de la sphère* (par le coefficient Q), *mais encore de la nature du milieu* (par le coefficient $\frac{1}{k}$).

Les *densités superficielles* σ de masse électrique et ε de quantité d'électricité sur la sphère S, dont le rayon est R, ont pour expressions d'après (7) :

$$\sigma = \frac{M}{4\pi R^2} = \frac{h}{4\pi} \qquad \varepsilon = \frac{Q}{4\pi R^2} = \frac{kh}{4\pi}$$

h désignant ici la valeur de l'intensité du champ à la surface de la sphère.

La théorie des fluides confond, sous la même dénomination d'électricité, les deux notions essentiellement distinctes de masse électrique et de quantité d'électricité ; et elle attribue en bloc à cette électricité les propriétés *mathématiques* des masses (actions fictives à distance) et les propriétés *expérimentales* de la quantité d'électricité (invariabilité de Q, etc.). Maxwell a perfectionné beaucoup la théorie en distinguant ces deux notions, qu'il appelle *électrisation apparente* et *électrisation vraie* (§ 83 de son Traité).

La somme des masses électriques et la somme des quantités d'électricité d'un champ quelconque sont, en vertu de leurs définitions mêmes, identiquement nulles. On a donné à tort à cette propriété mathématique le nom de *principe de conservation de l'électricité.*

6. *Conductivité électrique. Intensité d'un courant.* — Si deux conducteurs filiformes A B et C D sont intercalés dans un circuit où l'on a créé un *courant*, c'est à dire un champ électrique, l'expérience montre que le rapport des chutes de potentiel $(V_A - V_B)$ et $(V_C - V_D)$, mesurées entre les extrémités de chacun de ces conducteurs, ne dépend que de la nature et des dimensions de ceux-ci. On est ainsi conduit à poser :

$$\frac{V_A - V_B}{V_C - V_D} = \frac{R_{AB}}{R_{CD}},$$

et à attribuer aux conducteurs A B, C D, E F... des coefficients d'influence respectifs R_{AB} R_{CD} R_{EF} ... qu'on appelle *résistances électriques*, et dont les rapports deux à deux sont définis par cette relation et d'autres semblables. La valeur R_{AB} de l'une des résistances est évidemment arbitraire (provisoirement).

La relation ci-dessus peut s'écrire :

$$\frac{V_A - V_B}{R_{AB}} = \frac{V_C - V_D}{R_{CD}} = I. \qquad (8)$$

Le rapport I, qui a même valeur pour deux fractions quelconques A B et C D du circuit, est appelé *intensité du courant.*

D'autre part, on démontre, en s'appuyant sur l'expérience, que l'intensité h du champ électrique à l'intérieur du circuit satisfait à la relation :

$$\frac{\partial}{\partial x}(c\,X) + \frac{\partial}{\partial y}(c\,Y) + \frac{\partial}{\partial z}(c\,Z) = 0, \qquad (9)$$

c désignant la *conductivité électrique* du milieu au point xyz (on sait comment la notion de conductivité se déduit de celle de résistance définie ci-dessus). La forme de cette loi (9) suggère, pour la commodité du langage, la notion d'un nouveau vecteur, qui, par définition, aura la direction de l'intensité h et une grandeur égale au produit $c\,h$, et que l'on appellera *densité du courant.*

Appelons *intensité du courant à travers un élément de surface* dS le produit de l'aire dS par la projection $c\,h_n$ de la densité du courant

sur la normale à cet élément. On démontre que l'intensité I du courant définie par la formule (8) ne diffère pas de l'intensité totale du courant à travers une section transversale quelconque S du circuit, c'est à dire a pour expression l'intégrale :

$$I = \int_s c\, h_n\, dS.$$

7. *Calcul des forces électriques.* — L'expérience nous fournit la notion précise de la pression, normale ou oblique, qu'un corps A subit par sa surface de contact avec un corps B (pression d'un liquide, frottement, etc.). Cette notion s'étend naturellement au cas où

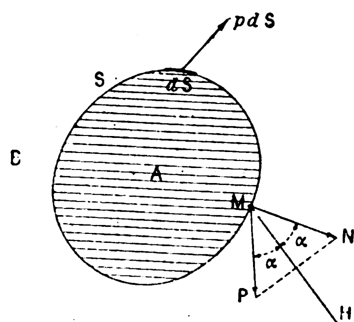


Fig. 3.

A et B sont deux parties d'un même corps séparées par une surface S (fig. 3). Sur chaque élément dS de cette surface, la région A subit de la part de B une force $p\,dS$, p désignant la force (pression ou tension) par unité de surface. Tel est le principe invoqué dans la théorie de l'élasticité des corps.

On démontre que, dans un champ électrique, la fore électrique p exercée par B sur l'unité de surface de A, en un point M où l'intensité du champ est h, a :

1° pour grandeur :

$$p = \frac{k h^2}{8 \pi}, \qquad (10)$$

k désignant le pouvoir inducteur du milieu ;

2° pour direction la droite MP, symétrique de la normale *extérieure* (MN) à la surface S par rapport à la direction MH de l'intensité h.

De cette loi élémentaire de la force électrique superficielle on déduit le calcul général des forces électriques appliquées aux surfaces ou aux volumes.

8. *Energie électrique.* — L'expression des forces électriques étant connue, une application du principe de la conservation de l'énergie permet d'en déduire l'expression de l'énergie électrique du champ. Contrairement aux idées de la théorie des actions à distance (§ 1) l'expérience montre que cette énergie est répartie dans les divers éléments de volume des corps, comme les autres énergies étudiées jusqu'ici : force vive, chaleur, énergie élastique et chimique, etc.

On démontre que la quantité d'énergie électrique w qui est localisée dans l'unité de volume, en un point où l'intensité du champ est h, est donnée par la formule

$$w = \frac{k h^2}{8 \pi}, \qquad (11)$$

identique à celle de la force p au § 7.

9. *Loi de Joule.* — La loi expérimentale de Joule, exprimée par la relation

$$q = c h^2, \qquad (12)$$

fait connaître la quantité de chaleur q dégagée pendant l'unité de temps dans l'unité de volume d'un conducteur, en un point où l'intensité du champ électrique est h. Le coefficient c étant proportionnel à la conductivité électrique du milieu, on prendra sa valeur définie par la relation (12) comme valeur de la conductivité, de telle sorte que l'unité de résistance, laissée provisoirement arbitraire au § 6, se trouve par là même déterminée.

La comparaison des formules (11) et (12) donne :

$$q = \frac{8 \pi c}{k} w. \qquad (13)$$

On voit que la quantité de chaleur q dégagée pendant l'unité de temps est une fraction $\frac{8 \pi c}{k}$ de l'énergie électrique w qui existe sur place. *L'énergie électrique se dissipe donc in-*

cessamment en chaleur avec une rapidité représentée par le coefficient spécifique $\frac{8\pi c}{k}$ *de la substance du conducteur.* Si l'on pose :

$$k = 4\pi c\,\theta, \qquad (14)$$

le coefficient spécifique θ, égal à $\frac{2w}{q}$, est comparable à un temps.

Quand le courant est permanent, c'est que l'énergie électrique dissipée en chaleur dans le conducteur est réparée au fur et à mesure par un apport d'énergie électrique venant d'une source permanente (pile, etc.).

Au contraire, dans le cas d'un condensateur *se déchargeant* par son diélectrique, supposé homogène et conducteur, aucune source d'énergie réparatrice n'intervient. L'énergie électrique $w\left(=\frac{kh^2}{8\pi}\right)$ éprouvant alors, par dissipation calorifique pendant l'unité de temps, une perte relative égale à $\frac{2}{\theta}$, l'intensité h du champ subit une perte correspondante $\frac{1}{\theta}$, et décroît, par conséquent, suivant la loi exponentielle : $h = h_0\, e^{\frac{t}{\theta}}$. Cette perte étant uniforme dans tout le diélectrique, les surfaces équipotentielles ne sont point modifiées pendant la dissipation du champ.

10. *Apport d'induction électrique. Loi générale de la distribution électrique.* — Considérons, dans un champ électrique, un élément de volume U, égal à l'unité, dans lequel arrive de l'extérieur pendant l'unité de temps une quantité w_1 d'énergie électrique. Cet apport w_1 d'énergie a pour effet : 1° de réparer la perte calorifique $\frac{8\pi c}{k} w$ subie par l'énergie électrique w existante dans le volume U ; 2° d'augmenter en outre de $\frac{dw}{dt}$ cette énergie w

$$w_1 = \frac{8\pi c}{k} w + \frac{dw}{dt}.$$

En remplaçant w par son expression

$$\frac{kh^2}{8\pi} \quad \text{ou} \quad \frac{k(X^2+Y^2+Z^2)}{8\pi},$$

cette relation devient :

$$w_1 = X\left(cX + \frac{k}{4\pi}\frac{dX}{dt}\right) + Y\left(cY + \frac{k}{4\pi}\frac{dY}{dt}\right) + Z\left(cZ + \frac{k}{4\pi}\frac{dZ}{dt}\right). \qquad (15)$$

Définissons, sous le nom d'*induction électrique*, un nouveau vecteur ayant, en chaque point du champ, la direction de l'intensité h et une grandeur égale à $\frac{kh}{4\pi}$. L'apport w_1 d'énergie électrique, qui provient des parties du champ voisines du volume U, est accompagné d'une variation correspondante $\bar{i}$ de l'induction électrique $\frac{kh}{4\pi}$. Nous appellerons *apport d'induction électrique* cette variation $\bar{i}$, qui se produit dans l'unité de temps. Comme l'induction électrique $\frac{kh}{4\pi}$ subit en outre, par la dissipation calorifique de l'énergie électrique, une perte relative égale à $\frac{1}{\theta}$ (§ 9), l'accroissement final de ce vecteur pendant l'unité de temps a donc pour expression :

$$\overline{\frac{d}{dt}\left(\frac{kh}{4\pi}\right)} = i - \frac{1}{\theta}\overline{\left(\frac{kh}{4\pi}\right)} = \bar{i} - c\bar{h}.$$

On déduit de là :

$$\bar{i} = c\bar{h} + \frac{k}{4\pi}\overline{\frac{dh}{dt}}. \qquad (16)$$

Si l'on désigne par i_x, i_y, i_z les composantes du vecteur $\bar{i}$ suivant les axes de coordonnées, on voit, par cette relation (16), que la formule (15) peut s'écrire :

$$w_1 = X\,i_x + Y\,i_y + Z\,i_z. \qquad (17)$$

L'apport d'énergie électrique w_1 est donc égal au produit de l'intensité h par l'apport d'induction électrique i et par le cosinus de l'angle de ces deux vecteurs.

Dans le cas particulier d'un milieu conducteur en courant permanent, $\frac{dh}{dt}$ étant nul, la formule (16) montre que l'apport d'induction électrique $\bar{i}$ est identique à la densité $c\bar{h}$ du courant. La loi expérimentale (9) du § 6 peut donc s'écrire :

$$\frac{\partial i_x}{\partial x} + \frac{\partial i_y}{\partial y} + \frac{\partial i_z}{\partial z} = 0. \qquad (18)$$

Dans le cas d'un milieu isolant, la conductivité c étant nulle, l'apport d'induction électrique i est identique à la dérivée $\frac{d}{dt}\left(\frac{kh}{4\pi}\right)$ de l'induction électrique. On a alors :

$$\frac{\partial i_x}{\partial x}+\frac{\partial i_y}{\partial y}+\frac{\partial i_z}{\partial z}=\frac{d}{dt}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{k\,X}{4\pi}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{k\,Y}{4\pi}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{k\,Z}{4\pi}\right)\right].$$

Posons, pour abréger :

$$\delta=\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{k\,X}{4\pi}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{k\,Y}{4\pi}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{k\,Z}{4\pi}\right),$$

et appelons δ *densité de quantité d'électricité.* Si le milieu est homogène, le pouvoir inducteur k est constant et, d'après la formule (3) § 4, on a : $\delta=k\rho$. Or, dans les expériences citées au § 5, la formule (7) indique qu'il n'y a de masses électriques que sur la sphère électrisée et, par suite, qu'en tout autre point du champ la densité ρ de masse est nulle et reste nulle, même lorsqu'on fait varier l'état du champ par un déplacement de la sphère. En d'autres termes la dérivée $\frac{d\rho}{dt}$ est nulle, et il en est de même de $\frac{d\delta}{dt}$. Donc l'équation (18) est encore satisfaite dans ce cas.

Les deux lois de la distribution électrique relatives aux deux cas que nous venons de citer ne sont donc que des cas particuliers d'une loi générale exprimée par la formule (18). Cette loi générale a du reste d'autres conséquences très importantes, qui sont entièrement vérifiées par l'expérience : invariabilité de la quantité d'électricité d'un conducteur isolé quelconque, propriété du conducteur creux pour la mesure d'une quantité d'électricité, etc.

La loi générale (18) de la distribution électrique n'est autre que celle que Maxwell énonce en disant que le courant total (somme des courants de conduction et deplacement) est toujours fermé, ou encore que l'électricité est incompressible. C'est également la loi hypothétique de la théorie des fluides, d'après laquelle l'accroissement, par unité de temps, de l'*électricité* existante dans un certain volume est égal à l'intensité totale du courant entrant dans ce volume par sa surface. Il faut ici comprendre le mot électricité dans le sens de quantité d'électricité défini ci-dessus et non dans le sens de masse électrique défini au § 4.

(*A suivre.*)

A. Vaschy,
Ingénieur des télégraphes.

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Commutateurs à mercure Dorman et Smith (1895).

Le centre de gravité du système mobile constitué par l'armature E, le contrepoids W et les contacts A du mercure B se trouve un

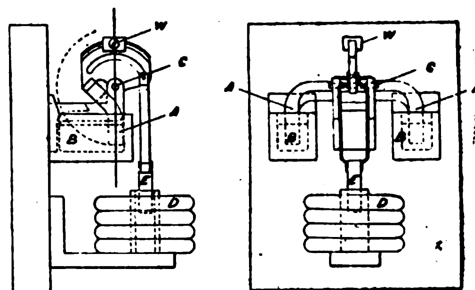


Fig. 1 et 2.

peu à gauche de l'axe de pivotement C, qui est situé dans le plan vertical passant par le centre de poussée du mercure sur les touches

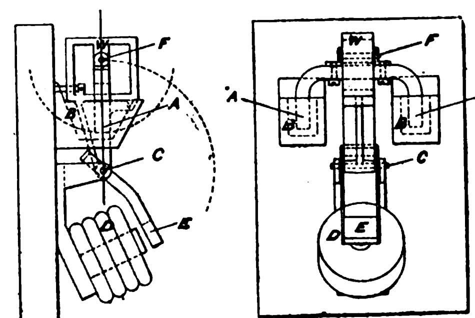


Fig. 3 et 4.

A en position de fermeture. Il en résulte que les variations de niveau du mercure ne troublent pas l'équilibre du système, et qu'il suffit d'un très faible travail de l'électro D pour dé-

terminer, par la chute de W, l'ouverture du commutateur. En outre, les contacts A sont pivotés autour de l'axe F de manière à plonger verticalement dans le mercure puis à traîner, lorsqu'ils basculent, sur le bord de leur auge, où se fait la rupture finale du contact.

Appel téléphonique Smith (1894).

Quand on envoie, par *t t*, un courant vibratoire dans les bobines *a a* de l'électro polarisé M *b b*, l'armature A, rappelée par le ressort *f*, passe de *s* à *t*, et ferme le circuit X des électros *m m*. Ces derniers frappent un coup de sonnerie par leur armature Q, qui, en même temps, ferme en K le circuit de Y sur les électros *b* de M, de manière que A, attiré de nouveau, rompe le circuit X, et que la sonnerie fonctionne en trembleuse pendant toute la durée des contacts de A avec C.

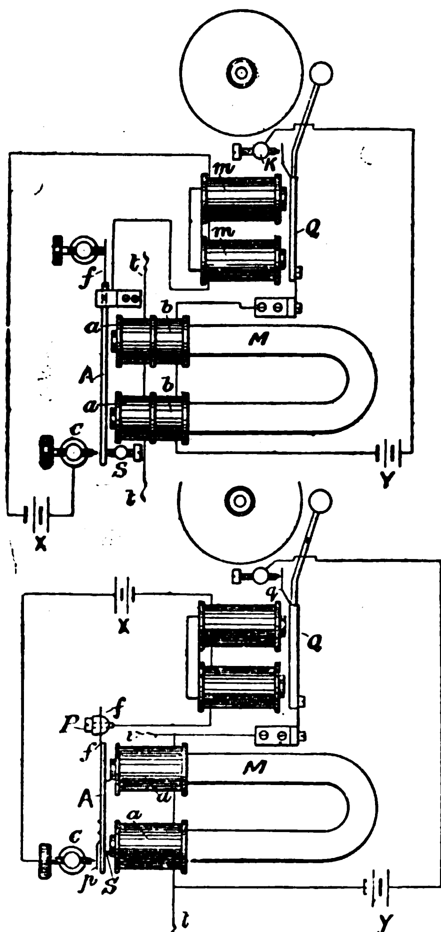


Fig. 1 et 2.

Avec le dispositif (fig. 3), lorsqu'on presse le bouton R, on ferme le circuit de Z sur le

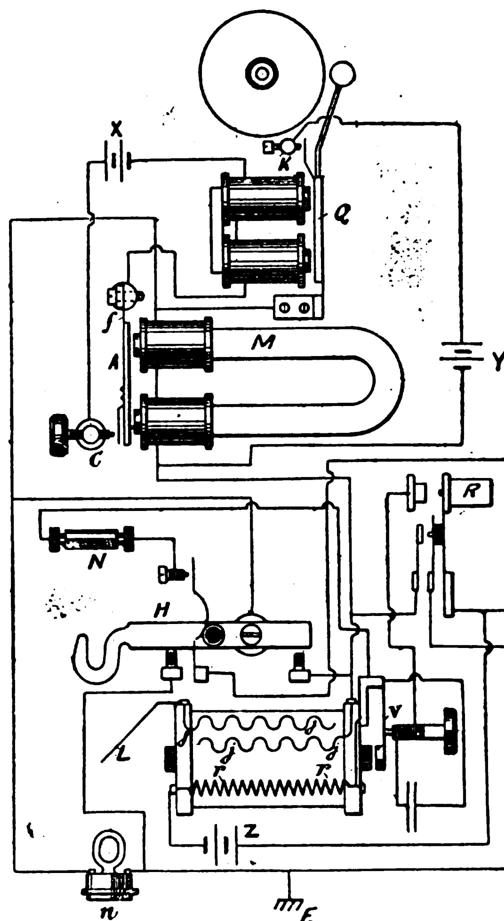


Fig 3.

primaire *r r* d'un phonophone *r j* et du trembleur V, qui induit des courants vibratoires dans le secondaire *j j*, relié à la ligne L. Le crochet H, ferme par *r r* le circuit Z du microphone N, et le coupe de M quand il se relève. Quand on l'abaisse, il coupe du circuit le téléphone récepteur *n* et rétablit celui de M.

G. R.

Séparation électrolytique de l'étain des fers blancs et alliages Clauss et Sutton (1895).

L'alliage est plongé en anode dans un bain

de 1 partie de sulfostannate de sodium Sn S^3 Na^2 sur 2 parties d'eau chauffées à 90° et traversé par un courant de 100 ampères par mètre carré. L'étain se dépose sur la cathode, et les autres métaux de l'anode, à l'exception de l'arsenic et de l'antimoine qui se précipitent sous forme de sulfures au fond du bac.

Si l'étain précipité renferme un peu d'antimoine ou d'arsenic, on peut le traiter en anode dans un bain d'acide chlorhydrique et d'hyposulfite de soude, où les impuretés se précipitent en sulfures.

G. R.

Galvanomètre réglable Menges (1895).

La partie mobile de ce galvanomètre se compose d'un attirail *n n*, *s s*, à pivot A, monté avec un petit jeu axial dans les pôles N S d'un

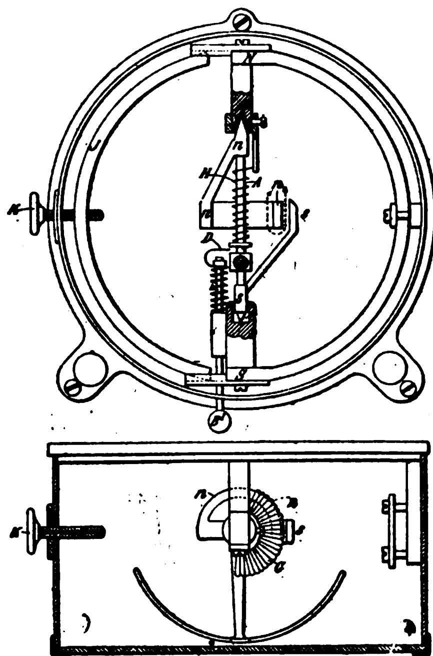


Fig. 1 et 2.

aimant permanent N m S, et dont le bras *n* traverse un solénoïde fixe G, traversé, comme l'indique la flèche pointillée, par le courant à mesurer: Un ressort H s'oppose à la rotation de A. Une armature J, mobile en K, permet de régler l'action de l'aimant N S de façon que A soit presque soulevé par son attraction, et à réduire ainsi ses frottements au minimum, C'est dans cet état, constaté par le peu de résistance opposée par la levée de A au moyen de la touche élastique B' D, que l'on règle et gradue l'appareil. La manœuvre du bouton K permet ensuite de remédier aux légères variations du magnétisme de l'aimant N S.

La figure 3 représente l'application de ce

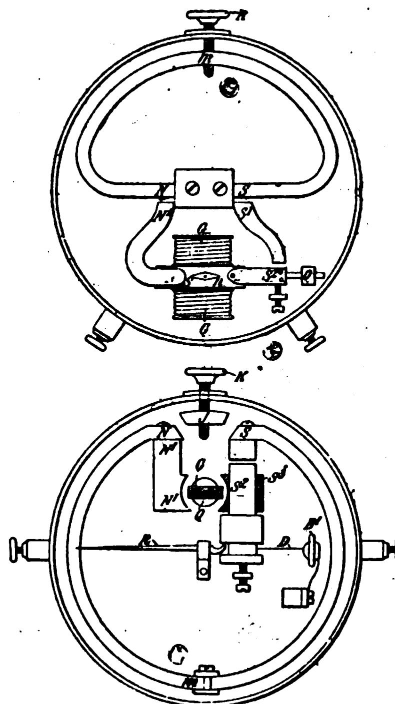


Fig. 3 et 4.

réglage à un galvomètre Deprez, avec aiguille *n s* placée entre les bobines G G, dans le champ d'un aimant ajustable N *m* S, fermé par la pièce polaire N' S' S', dont la parti mobile S, porte un contrepoids O réglable de manière à ramener l'aiguille toujours au même point pour une même intensité du courant.

Dans le type représenté par la figure 4, ces lignes de force de l'aimant N *m* S traversent de S' S' S' à N' le noyau Q, à bobine G, et mobile comme dans les galvanomètres de d'Arsonval. L'attraction de S' sur S', mobile dans S, par la touche élastique B' D, se règle, comme précédemment pour l'armature mo-

bile J. Une aiguille R facilite ce réglage en indiquant le moment où S' flotte presque en équilibre dans son champ magnétique.

G. R.

La traction électrique à Hambourg [1]

On sait avec quelle rapidité la traction électrique s'est développée en Allemagne ; l'application qui en a été faite à Hambourg en est une des meilleures preuves. Inaugurée il y a deux ans à peine, la traction électrique à trôlet dessert actuellement huit des principales lignes de tramways de cette ville formant une longueur de plus de 200 km, jonctions non comprises.

Le réseau est partagé en 9 sections ; chacune d'elles est alimentée indépendamment des autres par des feeders, constitués par des câbles armés et sous plomb du type Felten et Guillaume, placés de 0,50 cm à 1 m de profondeur sous les rues.

La puissance nécessaire à l'exploitation de la ligne est fournie par la station municipale centrale, construite en premier lieu pour fournir l'énergie électrique nécessaire à l'éclairage.

Cette station possède trois machines triples-compound Schuchau, d'une force de 600 chevaux-vapeur chacune, ces trois machines sont directement couplées avec trois dynamos Shuckert, donnant chacune 240 volts et 1 700 ampères avec une vitesse angulaire de 120 tours par minute. Comme les moteurs fonctionnent à 500 volts, on a ajouté trois survolteurs à cette installation.

En prévision du développement du réseau, on a installé trois dynamos additionnelles du même type que le précédent, dont deux pour l'éclairage et une pour la traction. En outre, trois autres stations contenant chacune un transformateur de 150 ampères de capacité ont été installées pour une alimentation temporaire de la ligne de la Wilhemstrasse En raison de nombreuses demandes d'énergie électrique qui absorberont bientôt toute celle que la station centrale peut fournir, il a été décidé de construire une station supplémentaire de 3 600 chevaux qui fournirait du courant uniquement pour les besoins de la traction, tandis que l'ancienne ne servirait qu'aux besoins de l'éclairage.

Le conducteur suspendu à trôlet consiste en un fil de cuivre étiré de 53 mm carrés de section supporté à une hauteur de 6 m au-dessus du centre de la voie ; ce conducteur est divisé en sections de 500 m environ, rendues électriquement indépendantes les unes des autres par un commutateur spécial qui est généralement fermé de manière à former un conducteur ininterrompu depuis le point de départ du courant jusqu'aux voitures. La police et le service des incendies possèdent des clefs des coffrets de commutateurs, et peuvent en cas d'urgence couper le courant dans l'une où l'autre des sections qui serait défectueuse et pourrait occasionner des accidents.

Les pylônes qui supportent les fils sont formés de tubes d'acier soudés ensemble, la plupart possèdent des lampes électriques, ce qui contribue à leur ornementation ; dans quelques cas ces pylônes supportent 2 conducteurs à trôlet. Dans les rues étroites les fils sont suspendus à des supports fixés dans les murs des maisons ; dans le Lombardsbrücke les conducteurs sont simplement maintenus par des fils d'acier. Aux points de croisement des fils téléphoniques et des conducteurs, ceux-ci sont protégés par des moulures en bois, les fils de lignes sont en outre protégés de la foudre par des paratonnerres magnétiques Thomson, placés dans des coffrets fixés au bas des pylônes ; chaque voiture est également munie d'un parafoudre.

Les voitures pèsent 6 680 kgm et mesurent 7,75 m de long, la largeur de chaque siège est de 0,50 cm, le nombre total des voyageurs (conducteur et contrôleur compris) est de 30 dont 20 sont assis et 10 debout, chaque voiture est éclairée par cinq lampes à incandescence montées en série. Le conducteur peut sonner la cloche d'alarme avec son

[1] *Elecktrotechnische Zeitschrift*, n° 40, p. 637.

pied, de sorte que ses deux mains restent libres pour la manœuvre du frein où de la mise en marche. La résistance de départ est à 6 contacts. Les deux essieux de chaque voiture sont à une distance de 1,7 m l'un de l'autre, les roues ont un diamètre de 0,75 m, la voiture est supportée par 4 ressorts hélicoïdaux.

Sur l'un des essieux est monté un moteur à 4 pôles, fixé d'autre part au châssis de la voiture par une suspension élastique.

Le poids total du moteur et des engrenages est de 810 kg. Le moteur a une puissance normale de 20 chevaux et peut en donner 30 au maximum ; sa vitesse de rotation est de 525 tours par minute pour faire 16 km à l'heure. Chaque moteur possède un engrenage à réduction, dont le rapport est de 4,78 à 1, enfermé dans un coffret rempli d'huile. La vitesse moyenne est de 12 km à l'heure, vitesse qui n'est pas amoindrie par l'addition d'une voiture supplémentaire.

Le nombre des voitures motrices et des voitures supplémentaires qui, au début de l'exploitation, était de 240 de chaque sorte, est maintenant de 400.

Les rails employés ont 15 cm de haut et pèsent 45 kg le mètre courant ; ils sont reliés à leurs points de jonction par un fil de cuivre nu pour augmenter la conductibilité de la ligne. La pente la plus rapide est de 5 pour 100.

Les tramways fonctionnent depuis 6 heures 30 du matin jusqu'à 1 heure du matin ; la consommation d'énergie électrique est de 10 000 kilowats-heures.

Le tableau suivant donne la comparaison des résultats de la traction électrique et de la traction à chevaux précédemment en usage :

	Electricité	avec Chevaux
Nombre de voitures motrices, par jour	14-22	14
Heures de travail	16	15,5
Distance parcourue par jour...	155	130
Voyageurs par jour	12 970	9 335
Recettes par voiture-kilomètre, en francs...................	3,19	2,39

Les frais d'exploitation sont de 0,41 fr par km de chaque voiture motrice, 0,075 fr pour les autres. Les frais d'entretien et de réparation s'élèvent à 0,08 fr pour 1 600 m et par voiture.

Une curieuse pile à écoulement, par R. W. Hill.

M. R. W. Hill, de Moscou, décrit dans *Industries and Iron* une pile à écoulement qu'il a construite dernièrement. Comme on peut le voir sur la figure 1, elle est construite comme une fontaine de Héron. Le tube de

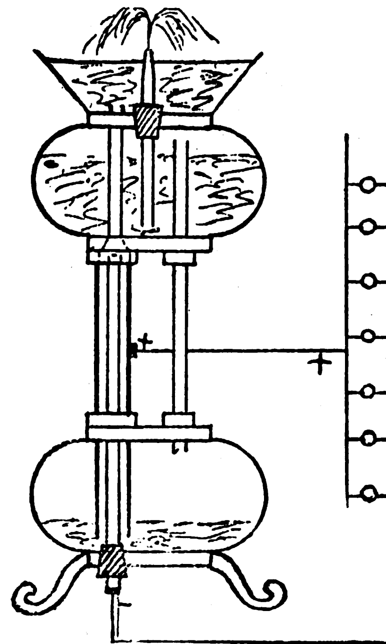


Fig. 1.

gauche, qui réunit les deux vases est en zinc ; les autres tubes sont en verre. Une tige de charbon passe par le fond du vase inférieur, à travers un bouchon en caoutchouc. La solution est celle qu'on emploie dans les piles au bichromate ordinaires. On commence par remplir le récipient intermédiaire aux deux tiers en retirant le tube du milieu ; on remplit ensuite le vase supérieur ; le mouvement du liquide se fait comme dans l'appareil classique de Héron. La durée du fonctionnement dépend évidemment de la capacité des vases et de la dimension de l'ajustage central. On peut, avec des dimensions pratiques, obtenir

un courant absolument continu pendant une cinquantaine d'heures.

G. P.

Procédé pour amoindrir les courants de terre des tramways électriques, par G. Kapp ([1]).

M. Ulbricht avait déjà proposé, pour diminuer l'intensité de courants s'échappant des rails de tramways ou même pour les supprimer complètement, de placer les rails dans un lit d'asphalte. Théoriquement, ce moyen est radical ; il protégerait non seulement les conduites d'eau et de gaz, mais aussi les lignes télégraphiques et téléphoniques ; mais il est à craindre que l'isolement par rapport à la terre ne puisse être obtenue d'une façon durable. Cela serait-il possible qu'il faut encore compter avec les hauts potentiels qûe pourraient prendre les rails. Ce cas peut se présenter quand les fonctions des rails deviennent mauvaises, ou encore quand le démarrage simultané de plusieurs voitures met leur conductibilité à l'épreuve. Une élévation de potentiel de 10 volts peut déjà être dangereuse pour les chevaux, et en cas de mauvaise liaison le potentiel peut devenir dangereux pour les personnes.

Pour éviter ces risques, on se verrait donc obligé d'employer un câble de retour isolé. Relié à un grand nombre de points des rails, ce câble ne pourrait les décharger qu'au prorata de sa conductibilité. La résistance ohmique de 1 km de voie double est d'environ 0,007 ohm. Un câble de retour de 300 mm^2 de section présente 0,057 ohm de résistance par kilomètre. Un tel câble ne prendrait donc dans des conditions normales (bonnes jonctions des rails et bon isolement) qu'environ 11 pour 100 du courant total, les autres, 89 pour 100 seraient encore à la charge des rails. Le câble ne commencerait à être chargé qu'en cas de détérioration des joints de rails ; mais dans ce cas, il se créerait entre la terre et le câble des différences de potentiel dangereuses. Pour éviter radicalement ces différences de potentiel, il faudrait donner au câble une section telle que sa conductibilité fût au moins égale à celle des quatre rails de la double voie, c'est à dire environ 2 400 mm^2. Le coût d'un câble aussi important allié aux frais d'isolement des rails rendent ce procédé économiquement inapplicable.

Mais si nous renonçons à l'isolement peu pratique des rails, et si nous ne cherchons qu'à affaiblir les différences de potentiel entre les rails et la terre, nous obtenons l'avantage de diminuer les courants de terre, sans pour cela introduire un nouvel inconvénient, celui des élévations de potentiel accidentelles.

Les cas de rupture simultanée en un même endroit des 4 jonctions de rails est peu vraisemblable, mais comme, somme toute, il est possible, il est nécessaire d'en tenir compte. Avec des rails non isolés, ce cas ne présente pas de danger ; le courant passe alors directement dans la terre, jusqu'à ce que les jonctions soient réparées.

Une diminution notable du potentiel des rails par simple couplage en parallèle d'un câble n'est pas économiquement possible pour les motifs déjà indiqués ; mais nous pouvons augmenter considérablement la proportion du courant qu'un câble relativement mince peut conduire, en intercalant dans ce câble une f. é. m., qui aspirerait en quelque sorte le courant des rails. Cette f. é. m. peut être fournie par quelques éléments d'accumulateurs, ou par des dynamos auxiliaires.

Prenons le cas d'une ligne à double voie avec voitures se suivant à 3 minutes d'intervalle dans les deux sens. A la vitesse de 16 km à l'heure, la distance moyenne entre deux voitures est sur chaque voie de 800 m ou pour les deux voies de 400 m. Le courant moyen absorbé par voiture sera, par exemple, de 15 ampères. Chaque kilomètre de voie a donc à décharger $\frac{1\,000}{400} \times 15 = 37,5$ ampères. Si les stations sont distantes entre elles de 500 m, chaque kilomètre fournira deux démarrages qui ne seront en général pas simul-

([1]) Communication faite à l'Elektrotechnischer Verein, le 17 décembre 1895.

tanés. Le courant maximum par kilomètre sera donc d'environ 37,5 + 35 ampères. La chute de potentiel le long d'une ligne isolée de l kilomètres ne dépasserait par conséquent pas $72,5\, l \times 0,007\, \frac{l}{2} = 0,25\, l^2$, tandis que la chute de voltage moyenne serait $0,13\, l^2$.

Supposons maintenant une ligne de 7 kilomètres, avec l'usine génératrice au milieu de la ligne ; la voie étant isolée, il existerait à ses extrémités un potentiel plus élevé en moyenne de 1,6 volt et au maximum de 3 volts que celui du milieu. Mais comme nous n'isolons pas la voie, ces différences de potentiel seront en réalité plus petites.

En tout cas, la différence de potentiel maxima qui se produirait dans le cas des rails isolés peut être considérée comme un des facteurs de production des courants de terre. La longueur de la voie est un autre facteur, de sorte que l'ensemble des courants de terre est à peu près proportionnel à la troisième puissance de la longueur maxima l du circuit. Dans notre cas, $l = 3,5$ et le nombre $10,7 = 0,25\, l^3$ donne la mesure de l'ensemble des courants dérivés par le sol.

Au lieu d'une seule station centrale au milieu de la voie, supposons maintenant encore deux autres vers les extrémités de la ligne, toutes les trois d'égale capacité et capables d'actionner les voitures sur une distance de $7/3 = 2,33$ km. On a alors pour chaque station $l = 1,17$ et la chute de potentiel maxima entre deux points quelconques de la voie est de 0,33 volt. L'ensemble des courants de terre est donné pour chaque station par le nombre $0,33 \times 1,17 = 0,385$, et pour les 3 stations ensemble par le nombre 1,15. Les courants de terre sont ainsi réduits à un neuvième de leur valeur primitive, et leur champ d'action est réduit au tiers. Si, au lieu de 3 stations nous en avions pris 4, les facteurs de réduction auraient été respectivement 1/16 et 1/4.

Il n'est évidemment pas nécessaire d'installer autant d'usines génératrices ; le même but est atteint, si nous posons des feeders de retour de différents points de la voie à l'usine centrale, en ayant soin que le potentiel au point d'attache du feeder soit inférieur à celui de la terre d'une valeur égale à la moitié de la chute de potentiel dans les rails.

Un même câble de retour peut d'ailleurs desservir deux points de la ligne, si le point d'attache le plus voisin est relié au câble par une résistance égale à celle de la portion de câble comprise entre les deux points d'attache. Par l'emploi de deux câbles de retour, on réduirait donc le volume total des courants de terre au 1/25, et leur champ d'action au 1/5.

Dans chacun de ces câbles de retour on intercale une génératrice, dont les inducteurs sont excités par le courant du feeder positif correspondant. Le but de cette disposition est de proportionner l'action de la génératrice aux intensités de courant instantanées des rails. Dans l'exemple choisi, les deux génératrices devraient fournir ensemble 9 kilowatts, et les dépenses d'installation, y compris celle des câbles de retour souterrains, seraient d'environ 40 000 francs. Les dépenses annuelles, comprenant 10 pour 100 d'amortissement, seraient de 6 500 francs environ.

A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur l'entretien du mouvement du pendule sans perturbations, par G. Lippmann. (1)

« 1. On sait qu'un pendule attelé à une horloge n'oscille pas avec la même régularité que s'il demeurait libre : les forces de frottement et les impulsions transmises au pendule par l'ancre qui lui est attachée modifient son mouvement et produisent des perturbations toujours appréciables.

» Dans les horloges de précision on a re-

(1) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 104 ; séance du 20 janvier 1895.

cours à un palliatif: par une construction habile du rouage on arrive à rendre la perturbation sensiblement constante, et à retrouver une marche sensiblement uniforme à une fraction de seconde près par jour. Ce résultat fait honneur aux constructeurs. Il semble même que l'efficacité du palliatif ait fait négliger de chercher le remède, c'est à dire la suppression des perturbations. Le présent travail a pour objet de montrer que cette suppression est possible; qu'il serait peut-être même plus facile de faire disparaître les perturbations que de les maintenir constantes.

» 2. Soit un pendule oscillant librement. Supposons qu'en un point A quelconque de sa course on lui applique une force instantanée destinée à compenser l'amortissement. Il faut que la direction de l'impulsion soit celle même de la vitesse au moment de l'action : sa grandeur d'ailleurs est définie par la valeur de l'amortissemnt qu'elle compense. Le problème est donc déterminé. Si le point A est quelconque, l'analyse montre qu'il y a perturbation. Il y a deux cas à considérer : si l'impulsion a lieu pendant la descente, alors que la vitesse et la force sont dirigées vers la verticale, l'impulsion produit une avance. Dans le cas contraire, si l'impulsion a lieu au point A pendant la montée, il se produit un retard. Si le point A se déplace en passant par la verticale, la perturbation change de signe en passant par zéro. D'où la proposition suivante:

» *Pour qu'une impulsion instantanée, considérée isolément, ne produise aucune perturbation, il faut et il suffit qu'elle ait lieu exactement au moment où le pendule passe par sa position d'équilibre.*

» Pour entretenir le pendule, une impulsion isolée ne suffit pas ; il importe donc de considérer également les actions de deux impulsions consécutives. Supposons que deux impulsions *égales* aient lieu en un *même* point A, l'une à la montée, l'autre à la descente. L'une produit un retard, l'autre une avance; l'analyse montre que ces perturbations sont *égales et de sens contraire.*

» 3. Pour démontrer les propositions précédentes, portons, sur deux axes rectangulaires, en abcisses les temps, en ordonnées les élongations d'une pendule libre. La courbe figurative du mouvement est TMT_1, très peu différente d'une sinusoïde (fig. 1). Une force instantanée agissant en A change la trajectoire du point figuratif qui, à partir de ce moment, parcourt l'arc $AM'T_1'$ d'une courbe dont les ordonnées sont $1 + \varepsilon$ fois plus grandes que celles de la première; ε étant l'amortissement. Tout se passe donc, à partir du point A, comme si le pendule avait passé par la verticale au moment T' différent de T : la perturbation est le retard mesuré par TT'.

» Déplaçons la courbe M' parallèlement à elle-même, d'une quantité égale à TT', de façon que les points T', T_1' se confondent avec T, T_1 (fig. 2). Dès lors le point A de la première figure se dédouble en une corde AA' égale à TT'. Les deux courbes de la figure 2 étant tracées, il suffit de mener une droite d'ordonnée y pour construire la perturbation qui correspond à une impulsion qui a lieu à la distance y de la verticale ; cette perturbation est mesurée par la longueur du segment A'A intercepté. Le second segment BB', égal et de sens contraire au premier, représente la perturbation à la descente.

» L'expression de la perturbation s'obtient par un calcul très simple. Il suffit d'écrire l'expression de l'élongation du pendule amorti; de développer le second membre en série, afin de négliger les termes du second degré par rapport au temps t, et de résoudre par rapport à t ; enfin de différentier l'expression de t par rapport à l'amplitude a. On obtient ainsi pour la perturbation θ l'expression

$$\theta = \frac{1}{2\pi} T \frac{y}{a} \mu.$$

T étant la période, μ l'amortissement.

» Cette formule donne d'abord les théo-

rèmes énoncés plus haut; elle indique en outre que θ est proportionnel à l'amortissement μ.

» Il est donc avantageux de laisser le pendule osciller librement, de ne pas augmenter, de diminuer même autant que possible l'amortissement. On remarquera que l'on peut à la fois faire tendre y vers zéro et obtenir la compensation entre deux perturbations consécutives; ces deux perturbations restent égales et de sens contraire, tout en tendant isolément vers zéro.

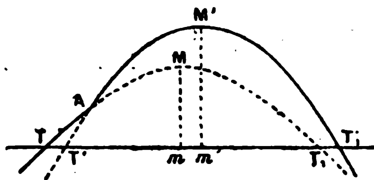


Fig. 1

» 4. Par quels dispositifs peut-on réaliser une série d'impulsions instantanées, égales, s'exerçant sur un pendule en un point déterminé de sa course? On peut avoir recours soit à un dispositif électrique, que j'ai construit et qui fonctionne, soit à un dispositif mécanique, que je me bornerai à indiquer sommairement parce qu'il n'a pas été essayé (¹).

» Le dispositif électrique que j'ai réalisé et qui fonctionne régulièrement est représenté par la figure théorique (fig. 3). Les actions utilisées sont, non pas des courants en circuit fermé, mais des charges et décharges d'électricité statique.

(¹) Un rouage est muni d'un régulateur continu; l'un de ses axes A fait $1+\varepsilon$ tour pendant une oscillation complète du pendule, ε étant une petite fraction toujours positive. Cet axe est perpendiculaire au plan d'oscillation et il porte à frottement doux une petite aiguille ou came a. La tige du pendule, vers sa partie inférieure, porte une petite palette p, qui lui est fixée et qui fait un angle α avec la verticale. L'axe A est placé de telle sorte que, lorsque l'aiguille a est horizontale, son extrémité soit en prise avec la palette p, le pendule étant à ce moment vertical. Cette coïncidence, une fois produite, se renouvelle à chaque oscillation; le petit excès de vitesse ε produit un choc léger qui entretient le pendule.

» Un condensateur C (microfarad) est mis périodiquement en relation avec les pôles d'une pile ouverte S. Il se charge à refus, d'une manière sensiblement instantanée. Un inverseur I, qui fonctionne périodiquement,

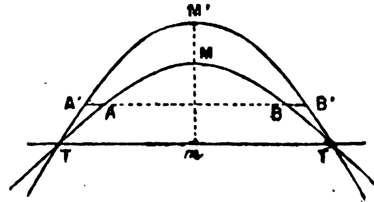


Fig. 2

intervertit les communications avec la pile S et, par suite, le signe de la charge du condensateur. Les charges et décharges ainsi produites traversent les bobines D et D', à l'intérieur desquelles est suspendu le barreau aimanté A B fixé au pendule. Le système du

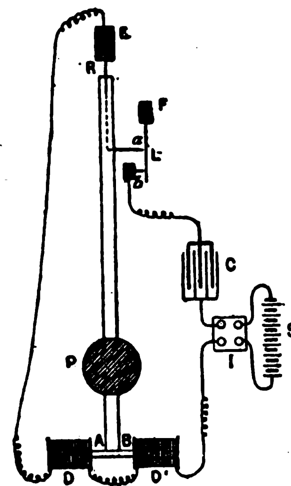


Fig. 3

barreau mobile dans une bobine a été employé, on le sait, par notre confrère M. Cornu. Ce barreau reçoit donc une série d'impulsions alternativement positives et négatives, de même durée que les charges et décharges statiques qui leur donnent naissance.

» Le moment du phénomène est déterminé par le contact d'un doigt métallique a, fixé au pendule, avec un ressort L, qui est un léger fil de platine. L bat contre le contact fixe b, et forme pont entre les contacts

a et *b*, fermant ainsi le circuit de charge C *ba* REDD'. Le moment de cette fermeture est parfaitement déterminé ; c'est celui où il y a contact à la fois en *a* et *b* ; à ce momoment, le moindre recul du pendule vers la gauche empêche le contact en *a*, son moindre mouvement vers la droite empêche le contact en *b*, de sorte qu'à l'aller et au retour le pont fonctionne pour la même position du pendule.

» La précision est d'autant plus grande que le ressort L est un mince fil de platine qui produit des contacts très légers. (1)

» L'égalité des impulsions, alternativement positives et négatives, est assurée ; en effet, la grandeur de chaque impulsion ne dépend que de la quantité d'électricité mise en jeu ; la qualité des contacts, la résistance du circuit n'interviennent pas ; la force électromotrice de la pile et la capacité du condensateur sont seuls en cause. Or, ces éléments ne varient pas pendant une seconde, et surtout leur valeur moyenne, pendant une série de secondes d'ordre pair, est certainement la même que pendant les secondes intercalaires d'ordre impair.

» Il n'y a pas d'étincelles de rupture, car, le condensateur se chargeant à refus, l'équilibre électrique s'établit, et la rupture a lieu sur un circuit sans courant.

» En fait, l'appareil que j'ai sommairement installé sans l'aide d'un constructeur, à la Sorbonne, a toujours fonctionné régulièrement. »

(1) La figure 3, purement théorique, montre, pour plus de clarté, les contacts *a* et *b* ouverts à la fois. En réalité, le fil L ferme toujours par élasticité le contact L, sauf quand il est lui-même touché et soulevé en *a*. Une vis micrométrique permet de déplacer horizontalement le contact fixe *b* ; on le règle de façon qu'il se produise quand le pendule est vertical. Enfin, la portion du fil L qui sert de pont entre *a* et *b* est assez réduite pour que cet élément de longueur du fil puisse être regardé comme inflexible.

Comme source S, à potentiel constant, j'ai utilisé une prise de lampe à incandescence sur les fils du secteur (110 volts). Par suite, la valeur moyenne du courant utilisé était de $2 \times 0{,}000110$ amp.

Résistance des lames métalliques minces, par Edouard Branly (1).

« En novembre 1894, M. Aschkinass (2) a présenté à la Société de Physique de Berlin des expériences relatives à l'accroissement de conductibilité de minces lames d'étain, sous l'influence des décharges électriques. Récemment, M. Mizuno (3) et M. Haga (4) ont repris la même étude. Ce phénomème n'est pas nouveau. J'ai fait connaître, en 1891, l'accroissement de conductibilité que l'action des décharges électriques détermine sur des feuilles d'or, d'aluminium, d'argent de très faible épaisseur (5).

» En partant du verre platiné, qui m'avait offert le premier une diminution de résistance, j'avais été conduit à opérer sur des lames de verre ou d'ébonite recouvertes de métaux porphyrisés, puis sur des limailles plus ou moins tassées et enfin sur des limailles noyées dans des poudres isolantes. J'ai insisté sur les énormes variations de conductibilité de ces diverses substances.

» Du verre platiné, il était naturel de passer à des lames métalliques minces. Bien qu'on ait alors affaire à des conducteurs continus, il n'est pas surprenant de voir encore se manifester les phénomènes observés avec des substances discontinues. Le battage ayant pour effet d'accroître les intervalles moléculaires des feuilles minces, on conçoit que les décharges puissent agir en comblant les vides, comme elles paraissent le faire dans le cas d'agglomérés visiblement discontinus.

» Mes expériences étaient faites au pont de Wheatstone, dans une salle à température constante.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 230 ; 3 février.

(2) ASCHKINASS. *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 283 ; 11 mai 1895.

(3) MIZUNO. *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 332 ; 16 novembre 1895.

(4) HAGA. *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 573 ; 21 décembre 1895.

(5) *Comptes rendus*, t. CXII, p. 93 ; *Bulletin de la Soc. intern. des Electriciens*, t. VIII, p. 197 ; *Lumière Électrique*, t. XL, p. 307 et 507.

» Les feuilles étaient appliquées sur des lames de verre ; elles avaient 6 cm à 7 cm de longueur, 3 mm environ de largeur, et leur communication avec le circuit était établie a leurs extrémités par des pinces de laiton.

» La diminution de résistance ne se produit qu'avec des lames très minces et elle n'atteint que quelques centièmes de la résistance totale.

» Des étincelles successives déterminaient à distance une diminution lente de résistance, mais l'effet maximum était obtenu d'emblée par la communication de la feuille métallique avec une bouteille de Leyde très faiblement chargée. L'aluminium est le métal qui m'avait présenté la plus forte diminution.

» Le rétablissement de la résistance par le choc se produisait ici comme avec les substances discontinues ; ce rétablissement est dû à un tremblement moléculaire analogue à celui qui fait décroître le magnétisme d'un barreau aimanté.

» Abandonnée à elle-même après l'action d'une décharge électrique, la feuille métallique reprend peu à peu, et avec une très grande lenteur, sa résistance primitive. Le plus souvent, le retour n'est pas complet après vingt-quatre heures.

« En tenant compte du nouveau phénomène que j'ai décrit l'an dernier sur la résistance au contact de deux métaux, l'interprétation des résultats relatifs à la diminution de résistance d'une feuille métallique devenait incertaine. Il était nécessaire de rechercher si la diminution n'est pas apparente et simplement due à la disparition d'une résistance au contact de la feuille et des plaques métalliques par lesquelles elle est reliée au reste du circuit. J'ai fait voir, en effet, que, pour certains métaux, il s'établit une importante résistance au passage, croissant avec la durée du courant et disparaissant subitement et presque complètement par le contact avec une bouteille de Leyde très faiblement chargée.

» Pour élucider la question, j'ai repris la disposition expérimentale que j'ai figurée dans les *Comptes rendus* (1). Ayant interposé une feuille d'or, ou d'aluminium, ou d'argent entre deux plaques de laiton, je me suis assuré que la résistance du système, négligeable au début du passage du courant d'un élément Daniell, n'augmentait pas avec le temps et qu'une décharge électrique ne la modifiait en aucune façon. Il est ainsi établi qu'avec des serrages en laiton il n'y a pas lieu de se préoccuper d'une résistance qui aurait son siège entre la feuille et les plaques de contact. Dans les expériences rappelées plus haut, ce sont donc bien les feuilles d'or, d'aluminium ou d'argent qui diminuent seules de résistance sous l'influence des décharges électriques.

» Il n'en serait pas toujours ainsi. Si l'on opérait, par exemple, sur une feuille d'aluminium serrée à ses extrémités entre des plaques de plomb, l'effet produit par une décharge électrique serait complexe, car il y aurait à considérer à la fois la diminution de résistance de la feuille elle-même et la disparition presque complète d'une résistance de contact entre l'aluminium et le plomb, et cette dernière variation serait, dans ce cas, de beaucoup la plus importante. »

Sur les différences électriques entre les métaux et les liquides, par G. Meyer (2).

Quand un électromètre capillaire de Lippmann, qui renferme un métal M_1 et un liquide L_1, se trouve polarisé sous une force électromotrice e_1, on doit avoir d'après la théorie de Warburg (théorie du courant de conduction)

$$e_1 = M_1 \mid (L_1 + x) + L_1 \mid M_1, \qquad (1)$$

x représentant le sel du métal M_1 qui a même acide que l'électrolyte L_1. Dans un autre électromètre, renfermant un métal M_2 et un électrolyte L_2, on aurait de même

$$e_2 = M_2 \mid (L_2 + x) + L_2 \mid M_2, \qquad (2)$$

(1) Séance du 22 avril 1895, t. CXX, p. 870. — *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 230 ; 4 mai 1895.

(2) *Wied. Ann.*, t. LVI, p. 680-700 ; 1895.

et par suite :

$$e_1 - e_2 = M_1 | (L_1 + x) + (L_2 + x) | M_1 - M_1 | L_1 + L_2 | M_2. \quad (3)$$

En désignant par E la f. é. m. d'un élément

$$M_1 \mid (L_1 + x) \, (L_2 + x) \mid M_2,$$

on a :

$$E = M_1 \mid (L_1 + x) - (L_2 + x) \, M_2 + M_2 \mid M_1. \quad (4)$$

Dans ces diverses équations, on a négligé les différences électriques entre les liquides, ce qui paraît légitimé par les travaux de Nernst et de Planck.

Si on admet au contraire la manière de voir de Helmholtz (courant de charge), en supposant que les forces électromotrices de polarisation e_1 et e_2 correspondent au maximum de la tension superficielle du ménisque, on a :

$$E = e_1 - e_2, \quad (5)$$

puisqu'alors

$$M_1 \mid L_1 = 0 \qquad M_2 \mid L_2 = 0.$$

D'après la théorie de Warburg, la somme

$$M_1 \mid L_1 + M_2 \mid L_2,$$

doit être en général différente de 0.

D'après la théorie proposée par M. Meyer (¹), les métaux tels que, dans un électromètre capillaire, leurs sels en solution présentent une tension superficielle moindre que les sels ayant même acide et une autre base, donnent une tension superficielle qui croît avec la f. é. m. de polarisation, puisque le courant a pour effet de diminuer la concentration du sel métallique au voisinage de la cathode. Si, en même temps, il se produit un autre phénomène électrolytique, provoquant une diminution de la tension superficelle, on observe alors un maximum de cette tension. C'est ce qui arrive avec un métal qui, dans le ménisque, se trouve en contact avec un électrolyte ne renfermant pas ce métal. On peut réaliser ces conditions sans produire de polarisation en employant des électrodes à écoulement de métal, en prenant soin de rendre aussi petite que possible la surface de contact entre la veine métallique et le liquide, ce qui s'obtient en amenant le point d'épanouissement de la veine sur la surface du liquide.

Supposons qu'on fasse s'écouler ainsi deux métaux M_1 et M_2 dans deux électrolytes L_1 et L_2 réunis par l'intermédiaire d'un électromètre capillaire, la différence de potentiel entre ces deux liquides sera ;

$$e_3 = M_1 \mid L_1 + L_2 \mid M_2 + M_2 \mid M_1. \quad (6)$$

De cette équation et des équations (3) et (4) on déduit

$$E = e_1 - e_2 + e_3. \quad (7)$$

La théorie de Helmholtz conduit ainsi à l'équation (5) et celle de Meyer à l'équation (7).

Pour trancher la question M. Rothmund a effectué des mesures, en employant, à la place des métaux eux-mêmes, des amalgames assez riches pour se comporter comme le métal. D'après la théorie du courant de charge à laquelle se rallie M. Rothmund, les différences $E - e_1 - e_2$ devraient être inférieures aux erreurs d'observation : il ne semble pas que cette condition soit réalisée suffisamment. M. Meyer a repris les expériences, a trouvé des résultats quelque peu différents et il en tire les conclusions suivantes :

La f. é. m. d'un élément $M_1 \mid L_1 \, L_2 \mid M_2$, n'est pas égale à la différence des f. é. m. de polarisation qui correspondent au maximum de la tension superficielle de M_1 dans L_1 et de M_2 dans L_2 ; il faut ajouter à cette différence une f. é. m e_3, égale à la différence de potentiel entre deux électrodes à écoulement déversant les métaux M_1 et M_2 dans les liquides L_1 et L_2 ; et par conséquent la théorie du courant de conduction est plus d'accord avec les faits que la théorie du courant de charge.

M. L.

Dispositif pour protéger les appareils de mesure contre les vibrations terrestres, par W. H Julius (¹).

Ce dispositif consiste en deux plateaux superposés dont un, l'inférieur, a la forme

(¹) *Wied. Ann.*, t. LIII, p. 845.

(¹) *Elektrotechnische Zeitschrift* N° 45 p. 717, 1895.

d'un triangle équilatéral et l'autre, supérieur celle d'un disque. Ce dernier est fixé au plateau inférieur par trois tiges parallèles placées au coin du triangle. Les deux plateaux sont en outre reliés par une autre tige joignant leurs centres et le long de laquelle glisse un poids de 3 ou 4 kilogrammes mû par un engrenage à crémaillère. Chacune des trois premières tiges est munie d'une douille projetée vers l'extérieur et servant de point d'attache à trois fils de suspension en acier, d'une longueur de 2 à 3 mètres et fixés par leurs extrémités supérieures.

L'appareil de mesure est placé sur une table-support dans une position telle que son centre de gravité se trouve dans l'axe du dispositif précédent ; on fait alors mouvoir le poids jusqu'à ce que le centre de gravité de l'ensemble se trouve dans le plan des trois points de suspension. Dans les douilles des points d'attaches de la suspension sont aussi fixés des fils de cuivre dont les extrémités inférieures sont soudées à des ailettes métalliques plongeant dans un liquide, ce qui sert à protéger l'appareil entier du balancement.

Cette disposition a, d'après l'auteur, donné d'excellents résultats.

Sur l'énergie dissipée dans l'aimantation, par Maurain (¹)

« On sait que, lorsqu'un corps magnétique est soumis à l'influence d'une force magnétisante décrivant un cycle fermé, une certaine quantité d'énergie est dissipée sous forme de chaleur. On mesure ordinairement cette énergie au moyen des courbes d'aimantation obtenues en faisant varier le champ magnétique lentement ou par bonds successifs ; de nombreux travaux ont été faits pour chercher sa valeur lorsque les variations du champ sont très rapides, ce qui est le cas dans les machines industrielles, mais les résultats obtenus sont peu concordants, même qualitativement ; je me suis proposé de chercher comment elle varie avec la fréquence du champ périodique employé.

» La quantité de chaleur mise en jeu était mesurée de la manière suivante : un réservoir cylindrique en verre, surmonté d'une tige capillaire calibrée, contient le faisceau magnétique et est rempli d'alcool ; il est placé à l'intérieur d'une longue bobine produisant un champ uniforme ; lorsque cette bobine est parcourue par un courant alternatif, il se produit un dégagement de chaleur qui est traduit par le mouvement de l'alcool dans la tige capillaire ; toutes les précautions sont prises pour protéger le réservoir contre l'échauffement de la bobine.

» Dans ces conditions, la chaleur mise en jeu est due : 1° à l'aimantation elle-même ; 2° aux courants d'induction. Cette dernière partie peut être supprimée presque complètement par l'emploi, au lieu de barreaux massifs, de faisceaux formés de fils suffisamment minces ; la théorie, jointe aux résultats d'expériences comparatives faites avec des barreaux et des faisceaux de fils, permet de s'assurer de ce fait.

» Le courant alternatif, produit par une machine Gramme, était mesuré à l'aide de la méthode électrométrique de M. Joubert ; l'alternateur était mis en mouvement par un moteur à courant continu dont on faisait varier la vitesse ; pour étudier l'influence de la fréquence, on maintenait constante l'intensité du courant primaire.

» La méthode calorimétrique employée est très sensible, mais aussi très délicate ; en général, il y aurait sur une mesure deux corrections à faire, provenant : 1° de la variation de la température ambiante qui produit un déplacement lent du niveau dans le tube capillaire ; 2° des pertes de chaleur à travers les parois du réservoir. Malgré toutes les précautions, ces corrections auraient toujours une part d'incertitude. J'ai donc cherché à les réduire le plus possible. On peut rendre la première très faible en opérant dans une pièce où la température varie lentement, et en s'astreignant à ne faire une expérience

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 228 ; séance du 3 février.

que quand la variation lente du niveau, toujours observée au préalable, est très petite par rapport à celle que l'on prévoit dans l'expérience à exécuter. Quant à la deuxième, on peut s'en affranchir de la façon suivante : la courbe représentant, en fonction du temps, la variation du niveau pendant une expérience, déterminée dans des expériences préliminaires, est une ligne droite qui s'infléchit au moment où les pertes de chaleur, à travers les parois, deviennent appréciables ; on procède aux expériences de mesures en ne fermant le circuit que pendant une durée inférieure à celle qui correspond à la partie rectiligne. Chaque mesure est répétée plusieurs fois, généralement trois, dans les mêmes conditions, ce qui permet de se rendre compte de la précision des expériences et de corriger toute erreur accidentelle.

» Voici quelques-uns des nombres obtenus :

» 1° Fils de fer de 0,5 mm de diamètre :

Tableau A

Fréquence	10	19,6	33,45	42,25	49,9	63,3
Variation du niveau par période	$153 \cdot 10^{-4}$	140	127,5	119,6	116,3	114
Valeurs relatives	1	0,915	0,833	0,781	0,76	0,745

» 2° Fils d'acier de 0,5 mm de diamètre :

Tableau B

réquence	13,4	18,35	39,9	51,7	65,5
Variation du niveau par période	$65{,}9 \cdot 10^{-4}$	60,9	52,0	51,4	49,8
Valeurs relatives	1	0,924	0,798	0,78	0,755

Ainsi, *la quantité de chaleur dissipée pendant une période diminue quand la fréquence augmente, cette diminution étant de plus en plus lente.*

» J'ai d'ailleurs vérifié, par des expériences faites avec des cylindres de cuivre, que, comme la théorie l'indique, la chaleur par période relative aux courants d'induction croît, au contraire, à peu près linéairement avec la fréquence.

» J'ai cherché si la diminution relative observée était la même pour différentes valeurs du champ magnétisant ; pour cela, j'ai construit pour deux fréquences (22,65 et 46,5) les courbes représentant les variations de l'énergie dissipée en fonction de l'amplitude du champ (fils de fer de 0,5 mm) ; il suffit alors de prendre le rapport de deux ordonnées correspondantes.

» Voici les résultats obtenus :

Tableau C

Maximum du champ	50 cgs	100 cgs	150 cgs	200 cgs	250 cgs	300 cgs	350 cgs	380 cgs
Rapport	0,858	0,854	0,866	0,862	0,861	0,860	0,864	0,866

Ainsi, *la diminution relative est sensiblement indépendante de la valeur du champ.*

» Les nombres indiqués dans la première ligne donnent la valeur maximum du champ produit par la bobine ; dans le faisceau lui-même, la force démagnétisante en réduit notablement la valeur.

» Il resterait à expliquer pourquoi l'énergie dissipée diminue quand la fréquence augmente ; il me semble que cet effet pourrait provenir du rôle d'écran que jouent les couches superficielles du corps magnétique par rapport aux couches internes ; des expériences en cours d'exécution sur les écrans électromagnétiques, dans lesquelles j'étudie le rôle de la fréquence, paraissent favorables à cette manière de voir. »

BIBLIOGRAPHIE

Distribution et Utilisation de l'énergie électrique par A. Pérot. *Paul Ruat*, éditeur, Marseille.

Ce livre constitue la seconde partie du cours de Physique industrielle inauguré il y a plus de trois ans par la Faculté des Sciences de Marseille.

La première partie, comprenant la production de l'énergie électrique, n'a été tirée, qu'à un très petit nombre d'exemplaires ce qui ne lui a pas permis d'arriver jusqu'à nous.

Dans la seconde partie l'auteur étudie tout spécialement le transport, la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique. Les trois premières leçons sont presque entièrement consacrées à l'étude des canalisations aériennes ou souterraines, à leur calcul tant au point de vue électrique qu'au point de vue mécanique, à la recherche des défauts, etc.

L'auteur passe successivement en revue les différents systèmes de distributions en série, en dérivation, à trois ou à cinq fils, en prenant comme exemples le transport d'énergie de Gênes, celui de la Chaux-de-Fonds et du Locle et enfin le secteur de place Clichy.

Il passe ensuite à l'étude des courants alternatifs : généralités, transformateurs convertisseurs, courants polyphasés, phasomètres et expose avec une grande netteté la magistrale théorie de M. Blondel pour le couplage des alternateurs. L'auteur met du reste à contribution à chaque instant les méthodes graphiques.

Comme exemple de distribution par courants alternatifs M. Pérot décrit l'usine génératrice du secteur des Champs-Elysées et le transport installé par la maison Weyher et Richemond dans ses ateliers. Il termine la question des courants alternatifs par un résumé de l'étude de M. Blondel sur le calcul des lignes à courants alternatifs.

L'auteur consacre la seconde moitié de son cours aux divers procédés d'utilisation de l'énergie électrique, procédés qu'il classe ainsi :

Phénomènes chimiques, électrolyse ;
Electro-métallurgie ;
Accumulateurs ;
Eclairage, incandescence et arc, photométrie ;
Four électrique ;
Soudure électrique, procédé hydro-électrique ;
Transmission de la force motrice ;
Tramways électriques, locomotives électriques ;

M. Pérot termine par un résumé très clair de télégraphie et de téléphonie, où il passe en revue les principaux appareils employés actuellement.

Tout le livre de M. Pérot est caractérisée par une netteté d'exposition remarquable. Nous ne pourrions pas malheureusement en dire autant des figures qui presque toutes sont faites à la main (ai-je dit que le livre est autographié) avec une irrévérence fâcheuse pour la définition de la ligne droite.

Quoiqu'il en soit, le livre de M. Pérot a une valeur réelle et nous ne pouvons que le recommander aux personnes désireuses d'augmenter leurs connaissances en électricité.

F. Guilbert.

Ouvrages reçus

I Misuratori di energia elettrica ed il loro controllo nella illuminazione, par Antonino Messina, Un vol. in 8° de 130 pages et 46 figures. *Alberti Reber*, éditeur, Palerme

Zur Mechanik des Vogelfluges, par Fr. Ahlborn Un vol. in 4° de 134 pages et de 54 figures. — *Friederischen et C°* éditeurs, Hambourg.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE.

Paris. — *Éclairage.* — A l'Hôtel de Ville, on songe déjà à la toilette de Paris pour l'Exposition universelle de 1900, et, dans sa prochaine session, le Conseil municipal aura à s'occuper de l'amélioration de l'éclairage des voies publiques.

L'ingénieur en chef directeur de ce service vient de terminer le plan de ces travaux, qui sont résumés en un rapport qui sera soumis aux délibérations de nos édiles. Ce projet, qui n'est plus qu'une juste satisfaction accordée enfin aux incessantes réclamations de la population parisienne, substitue à peu près partout la lumière électrique à celle du gaz.

La dépense prévue par cette substitution a été fixée par le service compétent à 6 millions, chiffre peu élevé, si l'on considère qu'après ce sacrifice, les trois quarts environ de Paris seront éclairés à l'électricité.

Voici d'ailleurs, un résumé succinct des voies désignées pour recevoir la lumière électrique :

En premier lieu, toutes les avenues et quais environnant l'emplacement de l'Exposition future, depuis la place de la Concorde jusqu'au champ-de-Mars, en passant par l'esplanade des Invalides et les boulevards qui environnent le vieil hôtel et la caserne de Latour-Maubourg.

Sur la rive gauche, notons les boulevards de Montparnasse, de Saint-Marcel, de Port-Royal, Saint-Michel, Saint-Germain, avenues de l'Observatoire, d'Italie, des Gobelins, de Montsouris, Reille, d'Orléans, du Maine, rue et place Denfert-Rochereau, etc.

Sur la rive droite, le projet comprend la place de l'Etoile et toutes les avenues qui y rayonnent, y compris l'avenue et le bois de Boulogne, d'où un peu de lumière chassera sans doute les maraudeurs et les vagabonds qui l'infestent.

Dans le centre de Paris, les ingénieurs ont prévu le prolongement de l'éclairage électrique des grands boulevards de la place de la République à la Bastille, et, de là, par la rue de Lyon, le boulevard Voltaire et l'avenue Daumesnil, le prolongement jusqu'à la gare de Lyon, la place de la Nation et le bois de Vincennes, où d'ailleurs, se trouvera une annexe de l'Exposition.

En outre, tous les parcs, squares et jardins publics seront également éclairés à l'électricité.

Deux usines seulement seraient nécessaires pour distribuer dans Paris ces ondes de lumière : l'une serait établie au parc Montsouris, et l'autre dans les vastes sous-sols de la mairie du XXe arrondissement.

Tel est dans les grandes lignes, le projet qu'étudie actuellement le Conseil municipal de Paris.

On commencerait par les squares des Innocents, Louvois, du Temple, des Arts-et-Métiers, des Vosges, Tenon, Delaborde, Vintimille, Montholon, les Champs-Elysées, le bois de Boulogne, avec 350 foyers, et le bois de Vincennes.

Paris. — Eclairage. — L'installation de l'éclairage électrique de l'avenue de la République et de l'avenue Gambetta, à Paris, a été mise en marche le 7 mars 1896. Cet éclairage est produit par 108 lampes à arc système Eck, construites par la Compagnie générale des travaux d'éclairage et de force (anciens établissements Clémançon) et installées sur candélabres type des boulevards.

Sur l'avenue de la République, c'est à dire de la place même au boulevard de Ménilmontant, les candélabres au nombre de 45, sont disposés sur refuges au milieu de la chaussée, à une distance moyenne de 40 mètres les uns des autres ; à partir du boulevard de Ménilmontant jusqu'à la porte de Romainville, ils sont disposés en quinconce sur les trottoirs, la chaussée n'étant pas assez large pour permettre l'installation de refuges.

L'alimentation des lampes à arc est faite par la nouvelle usine du tramway électrique de Paris à Romainville qui va entrer sous peu en fonctionnement ; c'est l'une quelconque des machines de cette usine qui devra servir à l'éclairage ; or la tension de distribution adoptée pour le tramway étant de 500 volts, on a été conduit à monter les lampes par séries de 9, ainsi qu'on l'avait fait du reste à l'Exposition de Lyon en 1894, où la lampe a fait sa première apparition et a donné des résultats parfaits.

Le courant est amené aux lampes par une canalisation souterraine de 5 kilomètres de longueur, composée de 2 câbles armés sur lesquels viennent se brancher en dérivation les différents circuits correspondant à chaque série de lampes.

Dans le socle du premier candélabre de chaque série est installé un rhéostat avec commutateur, un coupe-circuit et un interrupteur permettant l'allumage de la série correspondante ; dans le socle de chacun des candélabres est installé un appareil dériveur remplaçant automatiquement la lampe par une résistance de 4 ohms dans le cas où cette lampe cesserait de fonctionner par manque de charbons ou rupture d'un organe ; de cette façon l'extinction accidentelle d'une lampe ne nuit nullement au fonctionnement des autres lampes de la série, et si la cause qui avait éteint la lampe vient à disparaître, le dériveur lui permettra automatiquement de se rallumer.

Paris. — *Éclairage.* — Une commission parlementaire avait été nommée en vue d'examiner les améliorations à apporter à l'éclairage du Palais-Bourbon.

Cette commission ayant terminé ses travaux, il va prochainement être fait appel à l'industrie nationale en vue de procéder à l'importante installation de l'éclairage électrique du palais et de ses dépendances et le concours sera ouvert sur des bases permettant à tous les industriels d'y prendre part.

Paris. — *Éclairage.* — Les magasins Pygmalion fabriquent maintenant leur électricité au moyen d'une usine spéciale possédant une machine Willans de 90 chevaux, laquelle actionne une dynamo de 120 volts et 650 ampères.

Un groupe semblable au précédent va être installé comme secours. Cette installation alimentera 200 arcs et 500 lampes à incandescence.

Paris.—*Traction.*—En vertu d'un récent décret, est déclaré d'utilité publique l'établissement d'une ligne de tramways à traction animale ou mécanique, destinée au transport des voyageurs, des bagages et, éventuellement, des messageries et petits colis, entre la place de l'Eglise de Pantin et la route de Flandre.

Si nos renseignements sont exacts, c'est la traction électrique qui sera employée sur cette nouvelle ligne.

Aix (*Bouches-du-Rhône*).— *Traction.*— Un projet est à l'étude pour relier Aix et Marseille par un tramway électrique continuant celui qui part du cours de Belzunce et s'arrête à Saint-Louis.

Cannes. — *Traction.* — Un trop grand nombre de demandes de concessions peut, en certains cas, créer des difficultés. Tel est en ce moment, le cas de la ville de Cannes relativement à l'installation des tramways électriques dont nous avons déjà parlé dans notre numéro du 21 décembre 1895 (t. V, p. 575). Les demandes de concessions vont provoquer une enquête des plus sérieuses auprès des commerçants de la rue d'Antibes, des syndicats et associations commerciales et auprès de la clientèle étrangère, avant le commencement des travaux.

Chalons-sur-Saône. — *Traction sur les canaux.* — La Chambre de commerce de Chalons-sur-Saône a émis un avis favorable à l'achèvement du canal de la Marne à la Saône, en insistant auprès de M. le Ministre des Travaux Publics pour la prise en considération des propositions de la Société de traction électrique sur les voies navigables, qui offre à l'État son concours effectif pour hâter l'achèvement de ce canal dont l'utilité n'est plus à démontrer.

Fort-de-France. — *Éclairage.* — L'éclairage électrique ne tardera pas à être installé dans cette ville. On nous annonce, en effet, qu'une souscription récemment ouverte pour l'éclairage électrique de la ville est presque entièrement couverte ; sur les 1000 actions de 100 francs, 850 ont déjà été souscrites.

Issoire.—*Éclairage.*— La question de l'éclairage électrique va venir incessamment, devant le Conseil de Préfecture. Le concessionnaire a remis son mémoire et déposé le montant des frais de l'instance. Dans quelque temps la ville saura si elle peut résilier avec le gaz. Quelle que soit l'issue de cette affaire, elle n'occasionnera aucune dépense pour la ville, les frais regardant uniquement le concessionnaire.

Le Puy. — *Traction.* — Par décret du 14 mars dernier est déclaré d'utilité publique un réseau de tramways à traction électrique, destiné au transport des voyageurs et des marchandises, entre Espaly et Brives-Charensac, par Le Puy.

Ce réseau comprendra deux lignes ; l'une de la mairie d'Espaly-Saint Marcel à l'extrémité du pont sur la Loire, dans le village de Brives-Charensac; l'autre de la place de Cadelade (au Puy) à la cour de la gare de la compagnie des chemins de fer P.- L.- M.

Limoges. — *Éclairage.* — Dans notre numéro du 20 avril (t. III, p. 142), nous donnions un extrait du cahier des charges relatif à l'éclairage électrique du secteur concédé à M. Rougerie. Récemment la commission spéciale d'éclairage électrique, présidée par le maire de Limoges, après de longues et nombreuses discussions, a établi le projet définitif d'un traité de distribution d'énergie électrique qu'ont accepté les demandeurs en concessions, et les trois ingénieurs et agents de la Société des moteurs qui doit réaliser l'entreprise.

D'après le nouveau plan, presque toute la ville sera canalisée.

Le secteur sera, en effet, compris dans une ligne partant de la gare des Bénédictins, passant par les cours Bugeaud, Vergmaud, l'avenue Garibaldi, le faubourg de Paris, le boulevard Victor-Hugo, la place d'Aisne, le Champ-de-Foire, la rue de l'Amphithéâtre, la place des Carmes, le square des Emailleurs, l'avenue Baudin, les boulevards Saint-Maurice, de la Corderie, la place Jourdan, l'avenue de la Gare.

La canalisation primaire est souterraine, par conséquent aucun danger n'est à redouter.

L'usine distribuera de l'énergie électrique au compteur, à des prix très bas. Cette énergie pourra être convertie en lumière ou en force motrice au gré des preneurs.

Nous ne connaissons pas encore exactement les tarifs nouveaux, mais on nous assure qu'ils sont au dessous de ce qui a été pratiqué jusqu'à présent en France ; ces tarifs seront encore abaissés au fur et à mesure de l'augmentation de la consommation.

En dehors du périmètre dont nous venons de donner les grandes lignes, les concessionnaires seront tenus de fournir de l'énergie électrique chaque fois qu'il leur sera demandé six lampes par 100 mètres.

Ajoutons que la ville sera appelée à participer aux bénéfices de cette exploitation à partir de 6 pour 100.

Le projet va être soumis incessamment à l'approbation du conseil municipal, puis la parole sera donnée une dernière fois à la Compagnie du gaz.

La solution de cette question de l'électricité qui intéresse à un si haut point Limoges est donc proche.

Moulins. — Éclairage. — L'installation des pilônes destinés à supporter les lampes pour l'éclairage de la ville est enfin terminée.

Les deux lampes de l'un d'eux ont été allumées à titre d'essai et ont donné des résultats satisfaisants, l'éclairage était excellent mais serait encore meilleur si les lampes étaient surélevées de 0,50 m.

Nous apprenons en outre que la Compagnie d'électricité vient de faire l'acquisition d'une nouvelle machine de la force de 200 chevaux.

Ponts-de-Cé (Maine-et-Loire). — Éclairage. — Nous apprenons qu'un certain nombre d'habitants des Ponts-de-Cé, d'Erigné et de la Fontenelle, ont résolu de s'entendre avec la Compagnie des tramways pour qu'elle leur fournisse la lumière électrique.

Remiremont. — Éclairage. — Une réunion vient d'être organisée par le maire de la ville dans le but de traiter la question de l'éclairage électrique municipal. A la suite des débats un comité chargé de recueillir les adhésions en ville près des habitants, et notamment chez les commerçants, a été nommé.

Rouen. — Traction. — La ligne de tramways électriques de Rouen à Darnétal vient d'être inaugurée quoique le service ne soit pas encore complètement organisé.

A bientôt sans doute l'ouverture de la ligne de la place de la Cathédrale à la place des Chartreux et celle de l'Hôtel-de-Ville à la route de Lyons-la-Forêt.

Versailles. — Traction. — La Compagnie des Omnibus, qui exploite le réseau de tramways de la ville de Versailles, cesse, à partir du 1er avril, cette exploitation, et le nouveau concessionnaire, doit y établir la traction électrique. Il s'agit là, d'ailleurs, exclusivement des tramways de la ville de Versailles, à traction par chevaux.

Quant aux lignes de Sèvres et Versailles, appartenant à la Compagnie des Omnibus, il n'a pas été question d'en changer le mode de traction ; elles demeurent à air comprimé.

DIVERS

Le centenaire de la pile de Volta. — Nous avons déjà annoncé que la ville de Côme, patrie de Volta, se préparait à célébrer par une Exposition et un Congrès d'Electricité, le centenaire de l'immortelle découverte du grand physicien. (*L'Eclairage Electrique* du 14 mars 1896, p. 528). Dans la séance du 14 février, le Conseil Municipal de Côme a voté la proposition suivante :

« Le Conseil, approuvant l'idée d'un Congrès et d'une Exposition d'Electricité en 1899, met, dès maintenant la somme de 20 000 livres à la disposition de la Commission que le Conseil se réserve d'élire d'accord avec la chambre de Commerce. »

La découverte de la pile date bien de 1799 : Volta l'annonça à un de ses amis, le professeur Mocchetti, dans une lettre privée. Mais elle ne fut rendue publique que par la célèbre lettre de Volta à Sir Joseph Banks, en date du 20 mars 1800.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. MAUCHAUSSAT, 32, Boulevard de Vaugirard.

Tome VII | Samedi 11 Avril 1896 | 3e Année. — N° 15

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

MANOEUVRE ÉLECTRIQUE A DISTANCE

Le système de manœuvre électrique à distance que nous nous proposons de décrire est dû à la collaboration de MM. Savatier et de Lagabbe, Ingénieurs de la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, et de MM. Sautter, Harlé et Cie. Il a pour but de mettre en marche à distance, dans un sens ou dans l'autre, un électromoteur de puissance quelconque et de l'arrêter instantanément.

Depuis 1892, date du brevet, l'utilité et la fécondité de ce système ont été démontrées par un grand nombre d'applications, soit à bord des navires où il a contribué, dans une large part, au développement des installations électriques, soit à terre où il a donné des facilités nouvelles dans le service des monte-charges et des ponts roulants.

Nous commencerons par décrire l'organe principal du système, le commutateur rapide à relai.

Cet appareil, représenté par les fig. 1, 2 et 3, est constitué essentiellement par un électro-aimant A dont l'armature B oscille autour d'un axe C. Un ressort D maintient l'armature écartée tant que l'électro-aimant reste inerte. Dans cette position, les pièces en charbon EE portant sur les plots FF, également en charbon, ferment l'induit de l'électromoteur en court circuit.

Quand l'électro-aimant devient actif, l'armature B est attirée et les lames GGGG, venant appuyer avec force sur les dés métalliques HHHH, établissent des connexions telles que l'induit tourne aussitôt dans un sens déterminé. Les contacts métalliques sont doublés de contacts en charbon IIII disposés de manière à recevoir l'étincelle de rupture.

Le fonctionnement se comprend aisément.

Pour mettre l'électromoteur en marche, il suffit de fermer le circuit du relai. Inversement, en coupant le circuit, l'électromoteur est mis en court circuit et stoppe instantanément. Les étincelles de rupture ne se produisent qu'entre des pièces de charbon et sont très affaiblies du reste par la rupture simultanée en plusieurs points. Les contacts métalliques restent intacts.

Quand l'électromoteur est d'une grande puissance, on améliore le contact du court circuit en disposant, entre les charbons EE, un électro-aimant J qui, parcouru par le courant intense développé par l'électromoteur au moment de l'arrêt, concourt, avec le ressort D, à assurer un contact parfait.

Le même système de commutateur à relai est employé pour mettre hors circuit des rhéostats destinés à modifier la vitesse de l'électromoteur ; l'appareil est seulement simplifié.

Quelques exemples feront voir maintenant le parti qu'on a tiré des commutateurs à relai.

Treuils de monte-munitions. — Ces treuils sont destinés à desservir, sur les navires, les canons à tir rapide. Ils sont placés sous le pont cuirassé. Il existe un grand nombre de modèles différents suivant les emplacements disponibles et les conditions à remplir. La figure 4 représente un des types les plus usuels.

L'électromoteur qui commande le treuil par engrenages ou par friction est excité en dérivation. La benne est conduite à la descente comme à la montée ; le changement de sens s'obtient par l'inversion du courant dans l'induit.

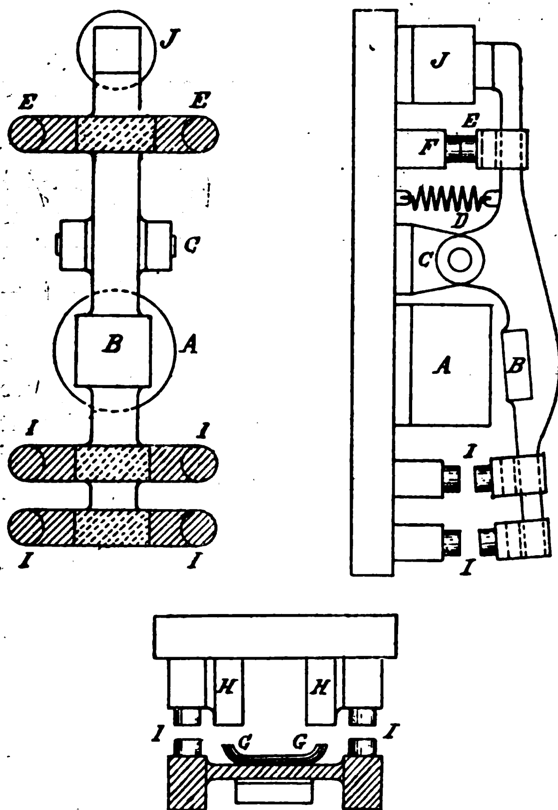


Fig. 1, 2 et 3. — Coupe verticale, élévation et coupe horizontale du commutateur à relai.

Les relais (fig. 4 et 5) sont au nombre de trois : A montée, B descente et C changement de vitesse. Les circuits des relais de montée et de descente sont commandés par deux commutateurs placés, l'un, D en bas, l'autre E au haut de la course de la benne. Ces commutateurs actionnés par les hommes chargés de la manœuvre provoquent la montée ou la descente. Ils doivent être d'accord ; autrement aucun mouvement ne se produit. Ainsi se trouve réalisée, sans aucune complication, une sécurité importante.

Les commutateurs D et E portent des leviers qui, rencontrés par la benne à son arrivée à fin de course, déterminent l'arrêt.

Le 3e relai C est actionné par un contact placé sur le treuil et participant à son mouvement. Un système de cames, facile à imaginer, détermine, après quelques tours de l'électromoteur, le passage du courant dans le relai et la suppression du rhéostat. Inversement le courant du relai C est coupé et le rhéostat intercalé à nouveau un peu avant l'arrêt.

Le même système de cames, agissant alors sur les relais A et B, est utilisé comme sécurité pour arrêter le treuil dans le cas où, pour une cause quelconque, les commutateurs D et E n'auraient pas fonctionné.

Le système que nous venons de décrire et qui a été installé, soit par la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, soit par MM. Sautter, Harlé et Cie, sur la plupart des bâtiments de notre Flotte, à l'avantage de supprimer toute transmission mécanique entre les postes d'arrivée et de départ de la benne. Les circuits des relais ne comportant qu'un petit nombre de fils d'un très petit diamètre sont les seuls qui soient prolongés au-dessus du pont cuirassé, et, par suite, les seuls soumis à des avaries de combat.

D'ailleurs, une avarie dans ces circuits ne paralyse nullement la manœuvre électrique du treuil. Elle peut se continuer en laissant le soin de l'arrêt aux cames de sécurité placées sur le treuil lui-même et en déterminant la mise en marche par un commutateur spécial F.

Commande du gouvernail.— Cette application est plus récente que celle des treuils. Elles a été réalisée, pour la première fois, par la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée sur le « Bouvines ». MM. Saut-

ter, Harlé et Cie ont exécuté le même système pour le « Carnot ».

Le but est de commander, par un électromoteur, le volant de manœuvre du servomoteur à vapeur.

L'ensemble des appareils est représenté par la figure 6.

L'électromoteur A transmet le mouvement au volant du servomoteur à vapeur par l'intermédiaire d'une chaîne Galle. Il peut être

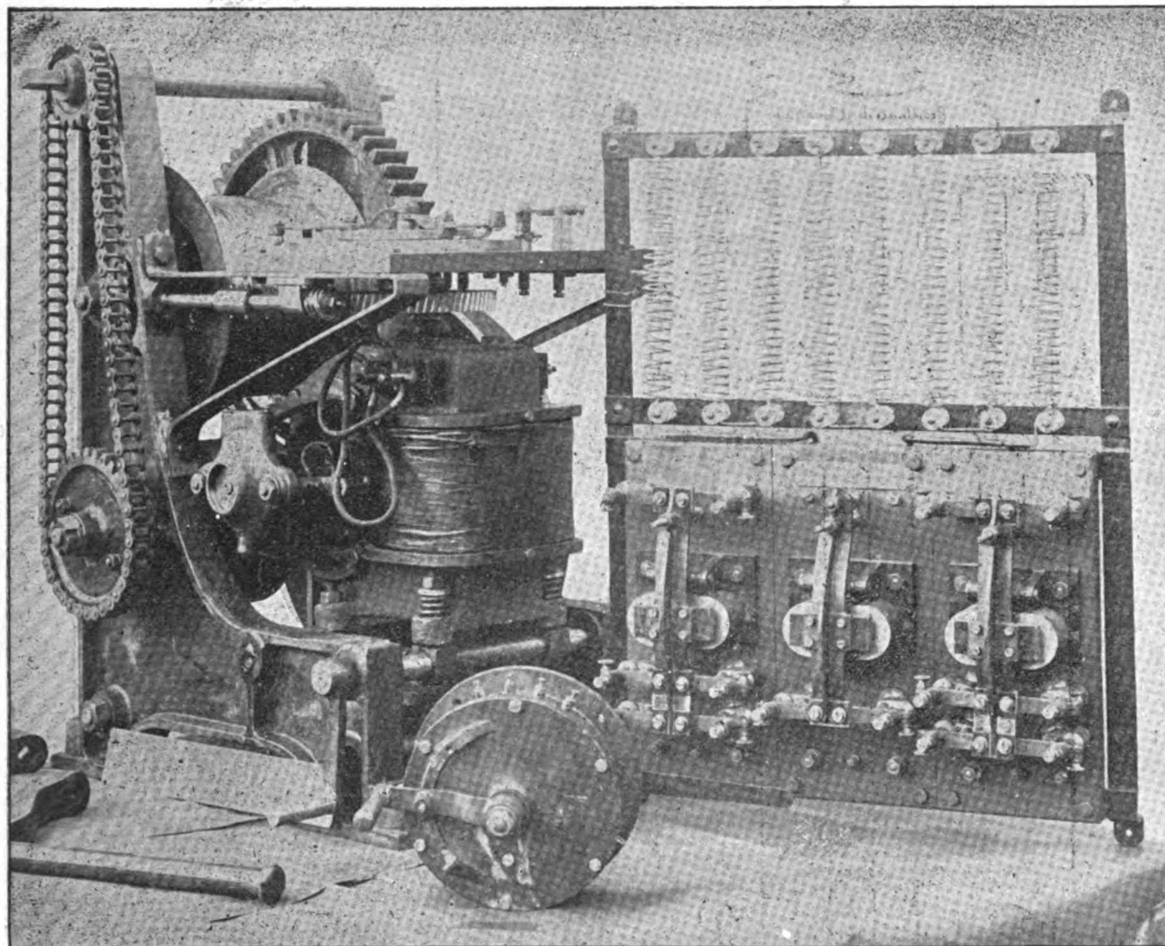


Fig. 4. — Treuil de monte-munitions.

actionné au moyen de deux manipulateurs constituant deux postes de commande et situés, l'un B dans le blockhaus, l'autre C sur la passerelle supérieure.

Le courant est envoyé par les manipulateurs aux relais D E F G. Les relais D et G déterminent la marche à droite ou à gauche. Les relais E et F mettent en court circuit successivement les deux parties du rhéostat H suivant la position des manipulateurs, de manière à marcher à diverses vitesses.

L'installation est complétée par deux systèmes de sécurité. Le premier système J est actionné par un index fixé à l'axiomètre du servomoteur à vapeur. Il interrompt le circuit des relais D ou G, et provoque par suite le stoppage quand la barre arrive à bout de course, d'un bord ou de l'autre. Le deuxième système K, actionné par l'écrou du tiroir agit de même si, pour une cause quelconque, le servomoteur à vapeur n'obéit pas au mouvement de son tiroir.

Les mouvements de la barre sont reproduits aux postes de commande au moyen de lampes à incandescence convenablement numérotées et reliées, par des câbles, à un manipulateur actionné par la barre elle-même.

La manœuvre est des plus simples. Il suffit

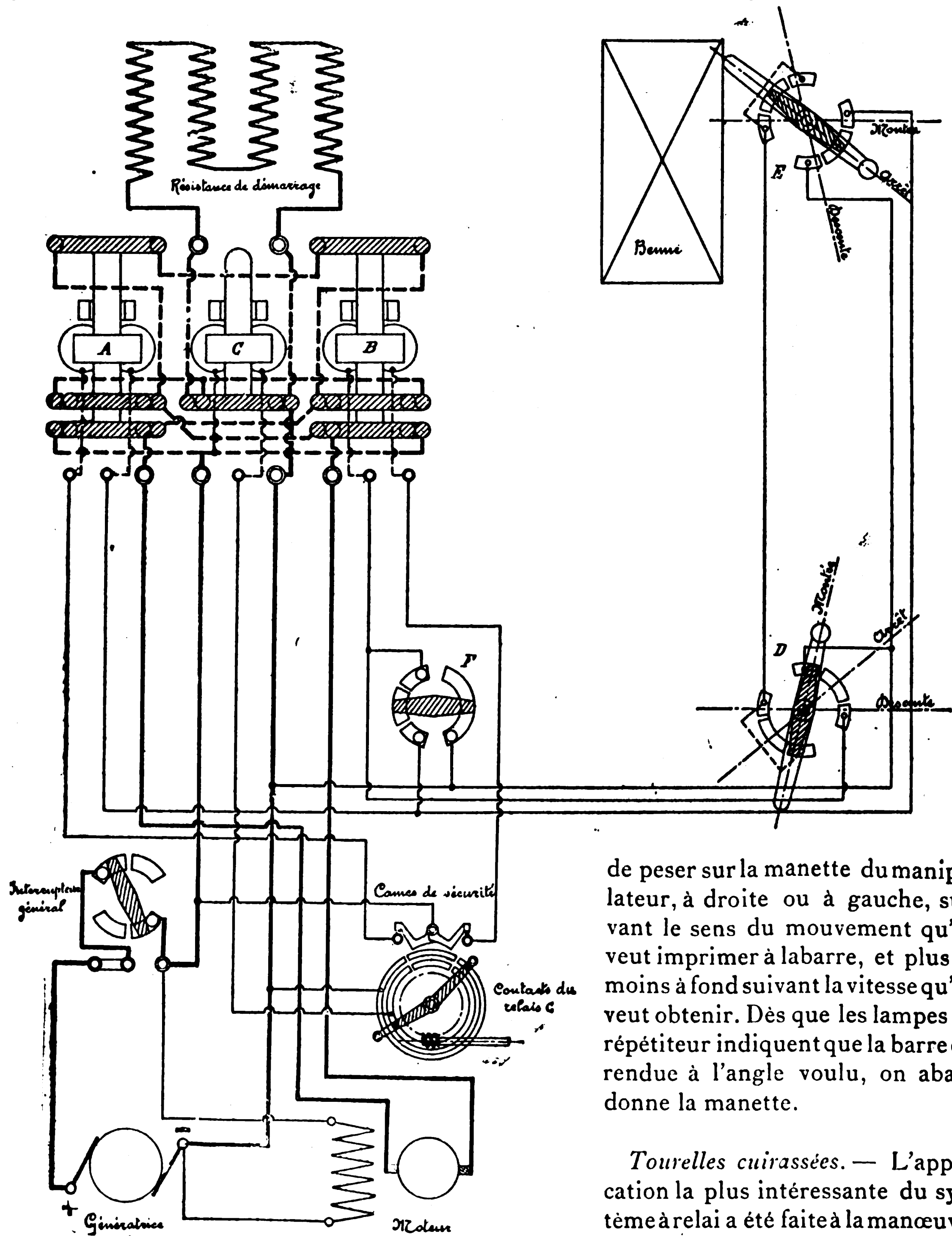


Fig. 5. — Détails des connexions du monte-munitions.

de peser sur la manette du manipulateur, à droite ou à gauche, suivant le sens du mouvement qu'on veut imprimer à la barre, et plus ou moins à fond suivant la vitesse qu'on veut obtenir. Dès que les lampes du répétiteur indiquent que la barre est rendue à l'angle voulu, on abandonne la manette.

Tourelles cuirassées. — L'application la plus intéressante du système à relai a été faite à la manœuvre des tourelles. Le « Capitan Prat »

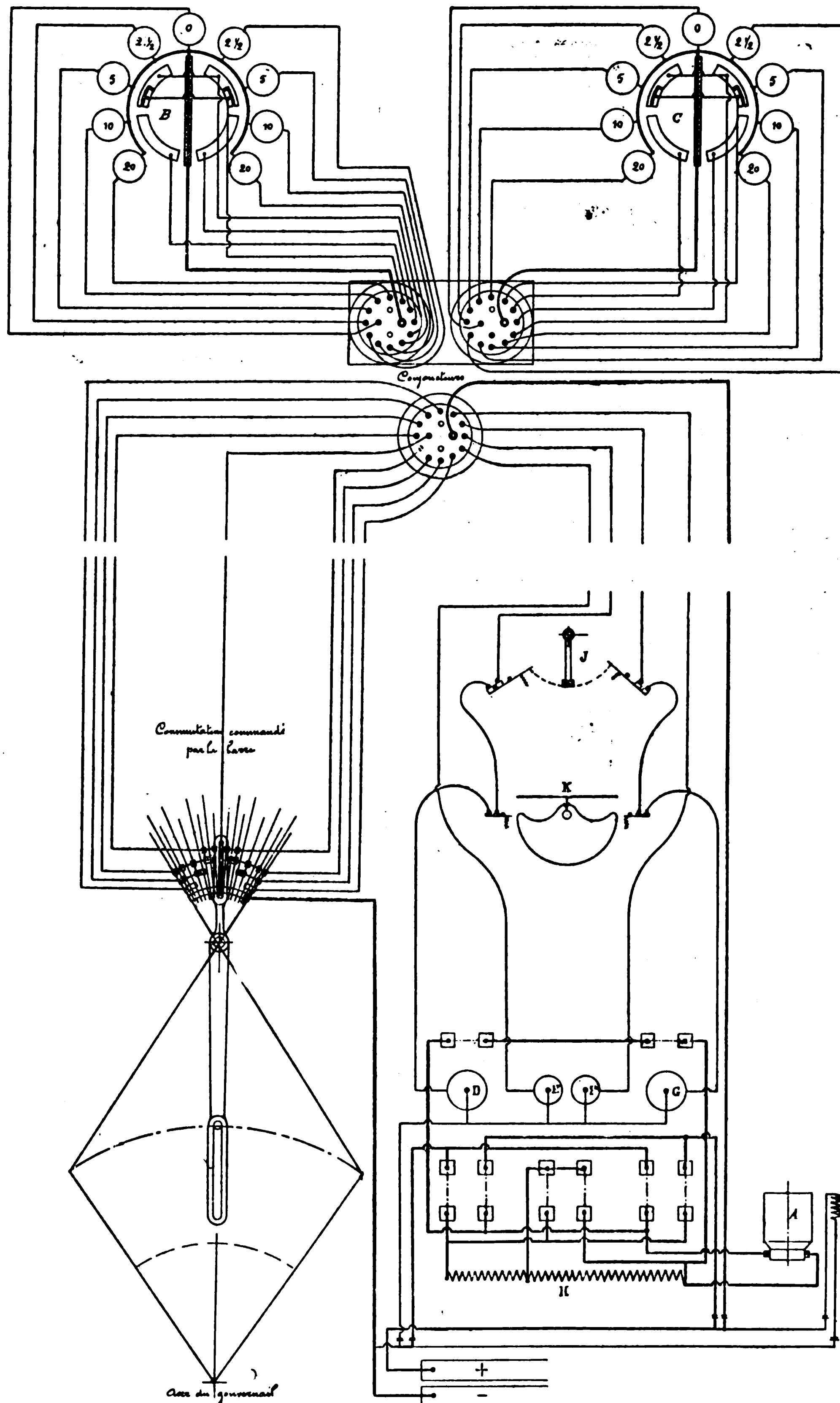


Fig. 6. — Ensemble des appareils de commande du gouvernail.

livré au Gouvernement chilien, en 1893, par la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, est le premier navire sur lequel l'électricité a remplacé l'hydraulique pour la manœuvre des tourelles. Tous les mouvements étaient commandés par relais, aussi bien pour le pointage du canon que pour les monte-charges. Le succès a été complet et a décidé l'adoption du même système pour le « Jauréguiberry », le d'« Entrecasteaux », le « Saint-Louis », le « Charlemagne » et le « Gaulois ». Tous les appareils électriques de ces divers navires ont été ou sont construits, soit par les Forges et Chantiers de la Méditerranée, soit par MM. Sautter, Harlé et Cie. Leur description fera l'objet ultérieurement d'un article spécial. Nous ferons remarquer seulement que le système de relais donne des facilités particulières pour le pointage précis. On procède, pour les obtenir, par petites impulsions que la légèreté du manipulateur permet de réduire autant qu'on veut, sans avoir à se préoccuper des étincelles, et cela qu'elle que soit la puissance de l'électromoteur, puissance qui, pour les grosses tourelles, dépasse 30 chevaux. Il en serait autrement si, au lieu d'agir sur des relais, on agissait sur le courant moteur lui-même. Les commutateurs deviendraient, en effet, trop pesants pour être bien en main. Autre avantage : les rhéostats et commutateurs sont relégués sous le pont cuirassé auprès des électromoteurs. A proximité du pointeur se trouvent seuls placés des manipulateurs de dimensions très réduites et reliés par des câbles comparables à des fils de sonnerie.

Mais, nous ne voulons pas nous étendre davantage sur cette application qui mérite, nous l'avons dit, une description spéciale.

J. Reyval.

L'UTILISATION DES CHUTES DU NIAGARA (1)

Dans une entreprise industrielle analogue à celle du Niagara, les détails ont souvent un intérêt capital. Nous avons déjà étudié les installations générales et décrit les dynamos géantes. Il nous reste à décrire les appareils accessoires et à parler des applications actuellement réalisées.

Tableau de distribution. — Pour satisfaire aux conditions générales que nous avons exposées précédemment (p. 441, t. VI), on a résolu de diviser l'ensemble de l'installation en groupes de 5 génératrices chacun. Les conducteurs de chaque génératrice vont directement, par des conduites souterraines, à un tableau de distribution sur lequel sont disposés les appareils de contrôle, de mesure, de réglage, ainsi que les interrupteurs et commutateurs. Chaque tableau de distribution est placé dans une situation centrale par rapport au groupe de dynamos qu'il dessert. Mais on a prévu, dans la construction de ces tableaux, la possibilité de relier entre eux d'une façon quelconque tous les groupes qui composeront une même usine ou même qui se trouveraient dans les autres usines dont la construction est prévue, tant sur la rive américaine que sur la rive canadienne.

La figure 39 représente une des tourelles sur lesquelles seront disposés les appareils composant un tableau de distribution pour un groupe de 5 appareils. La figure 40 représente schématiquement les connexions des génératrices, des commutateurs de celle-ci, des barres omnibus, des commutateurs des feeders, pour les circuits à longue distance ou pour les circuits locaux. Pour plus de simplicité on n'a figuré que deux génératrices un seul circuit local et un seul circuit à grande distance.

Les courants vont des dynamos 1 et 2 aux commutateurs S et S″, par des câbles isolés composés chacun de 427 brins en cuivre étamé ; la section cuivre de chaque câble est de 6,4516 cm^2. Au moyen des commutateurs S et S″ les courants de chaque génératrice passent à volonté soit à l'une soit à l'autre série de barres omnibus A et B. Celles-ci son

(1) Voir l'*Éclairage Électrique*, des 7, 21 et 28 mars, p. 433, 549 et 577.

composées chacune de 4 conducteurs en cuivre complètement isolés. Les commutateurs sont actionnés, comme nous le verrons plus loin, par l'air comprimé, et leur manœuvre est commandée par des leviers montés sur des supports en fer placés sur la plate-forme supérieure de la tourelle du tableau ; les commutateurs sont placés à l'intérieur de cette plate forme.

La figure 39 représente la tourelle du tableau de distribution. C'est une construction en brique blanche émaillée de 19 m de longueur, 4 m de largeur et 2,40 m environ de hauteur. Elle est érigée directement au-dessus de la galerie souterraine par où passent les feeders (fig. 25). Le plancher supérieur est en ardoise ; il est supporté par des traverses en fer à double T et est entouré par un garde-fou en laiton poli.

La galerie souterraine par où passent les

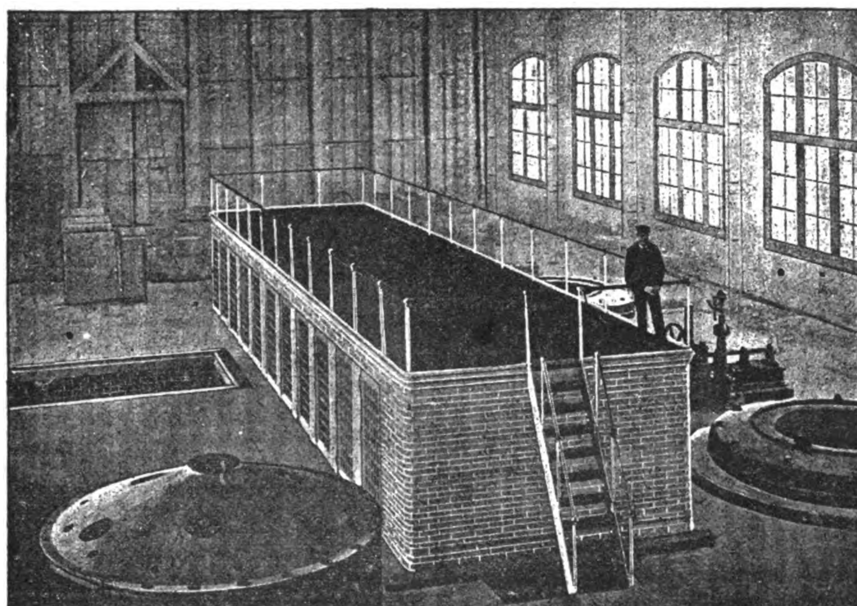


Fig. 39. — Tourelle d'un tableau de distribution.

feeders pour se rendre au bâtiment des transformateurs est traversée à distances convenables par des barres de fer à double T auxquelles les commutateurs des génératrices et des feeders sont boulonnés. Les câbles venant des génératrices, par des conduites couvertes placées sous le plancher, sont reliées aux commutateurs correspondants; les feeders descendent directement des commutateurs S' dans la galerie. Des supports en fer sont assujettis de chaque côté de celle-ci par des boulons permettant la dilatation thermique. Ils sont placés à intervalles de 1,25 m environ, et des colliers ajustables en fer, placés dans ces supports, maintiennent les câbles armés de plomb qui vont au bâtiment des transformateurs en passant par le pont du canal.

Les figures 41 à 47 représentent les détails de construction du tableau de distribution. Comme on peut le voir sur ces figures, les commutateurs et les barres omnibus sont placées à l'intérieur de la tourelle. Sur la terrasse de celle-ci sont montés cinq panneaux portant les instruments de mesure des génératrices, deux panneaux pour les transformateurs tournants employés comme excitatrices et un pour l'excitatrice temporaire mue par un moteur spécial. En face de chacun de ces panneaux en est placé un plus petit, de 91,5 cm de hauteur, tout en fonte, et portant les leviers qui contrôlent l'admission de l'air

dans les commutateurs et une roue qui permet de modifier la résistance introduite par les rhéostats.

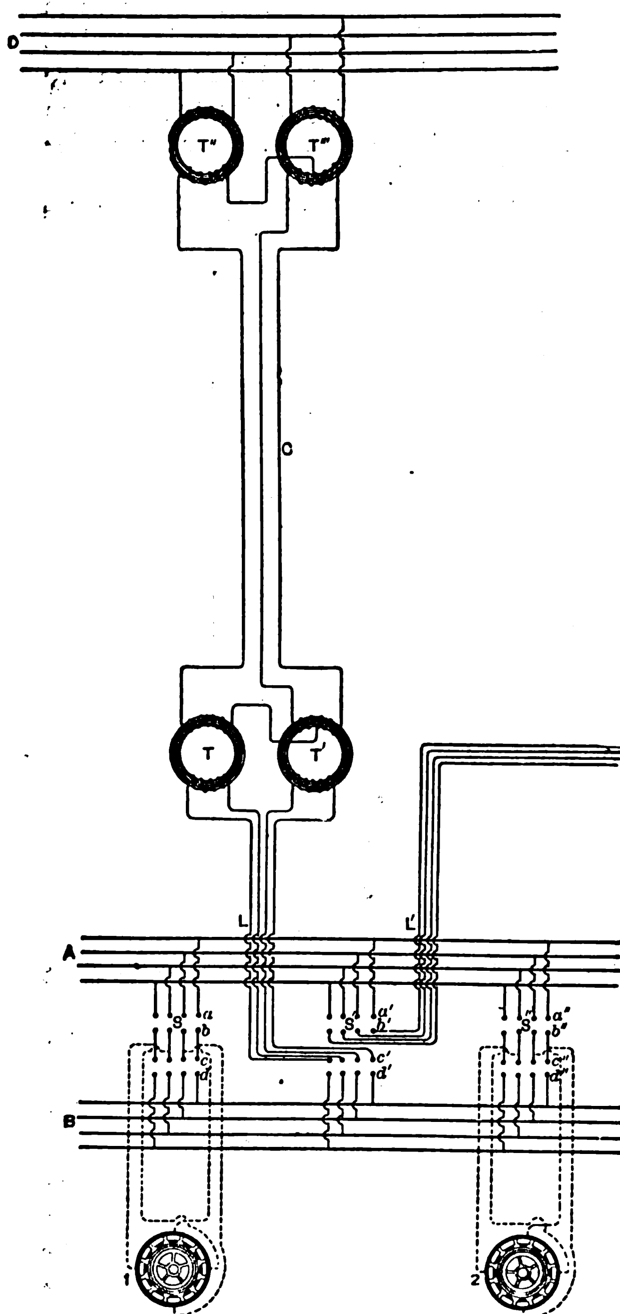


Fig. 40. — Diagramme montrant les connexions des générateurs, avec les circuits de distribution locale et à grande distance, montrant aussi la disposition des transformateurs pour changer les courants biphasés en courants triphasés.

Chaque panneau portant les leviers des dynamos porte aussi des leviers qui permettent d'ouvrir ou de fermer le circuit d'excitation de cette dynamo, ainsi qu'une roue qui sert à manœuvrer le rhéostat d'excitation.

Les rhéostats sont placés dans une pièce spéciale sous le plancher de l'usine ; les connexions entre les résistances et les plots de contact sur la terrasse de la tourelle sont établies par des câbles isolés de section convenable.

L'air comprimé, qui actionne les commutateurs, est fourni par un compresseur actionné directement par un moteur à eau de Worthington. Ce compresseur est placé au fond du puits à turbine, et refoule l'air dans un large réservoir d'où rayonnent les différents tuyaux d'alimentation des commutateurs. La pression est de 9 kg cm² environ.

Chaque commutateur comprend deux cylindres à air séparés et indépendants ; (fig. 47 et 48) qui commandent, l'un le commutateur relatif aux barres omnibus A, l'autre le commutateur relatif aux barres omnibus B. Pour charger les barres A par le courant de la dynamo 1, on admet l'air comprimé dans le cylindre correspondant du commutateur S et les communications sont établies entre les 4 points de la rangée horizontale *a* et les 4 points *b*. Pour relier la même dynamo à la barre B, on admettrait l'air dans l'autre cylindre du même commutateur et les connexions seraient établies entre *c* et *d*. Enfin si l'on voulait que la même dynamo alimente à la fois les deux séries de barres omnibus, on admettrait l'air comprimé simultanément dans les deux cylindres. Les mêmes opérations se répètent à volonté pour chaque génératrice.

Les commutateurs des feeders S'' sont semblables aux précédents, mais les connexions sont différentes. Une des séries de barres omnibus A est réservée aux circuits locaux et l'autre B, aux circuits à grande distance ; il suffit donc que le commutateur puisse établir ou rompre la communication avec l'une ou l'autre des barres.

Dans le diagramme de la figure 40, L représente un circuit à longue distance et L

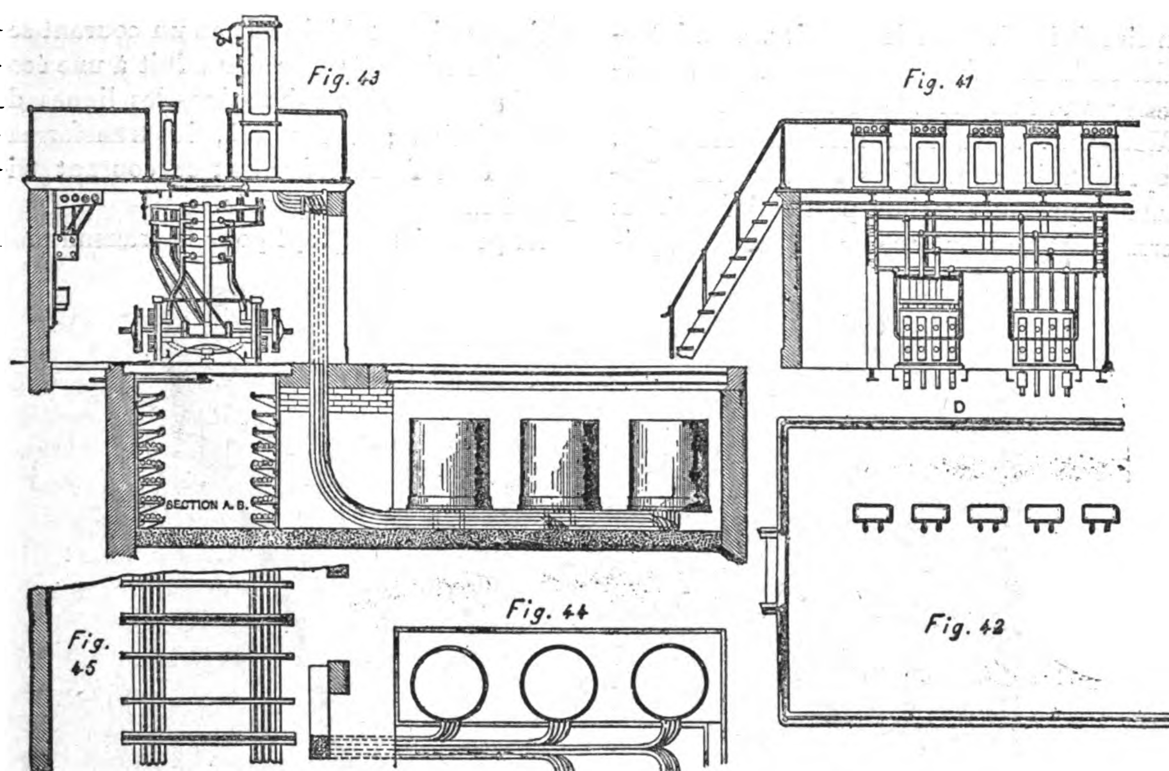


Fig. 41, 42, 43, 44 et 45. — Organisation des appareils du tableau de distribution.

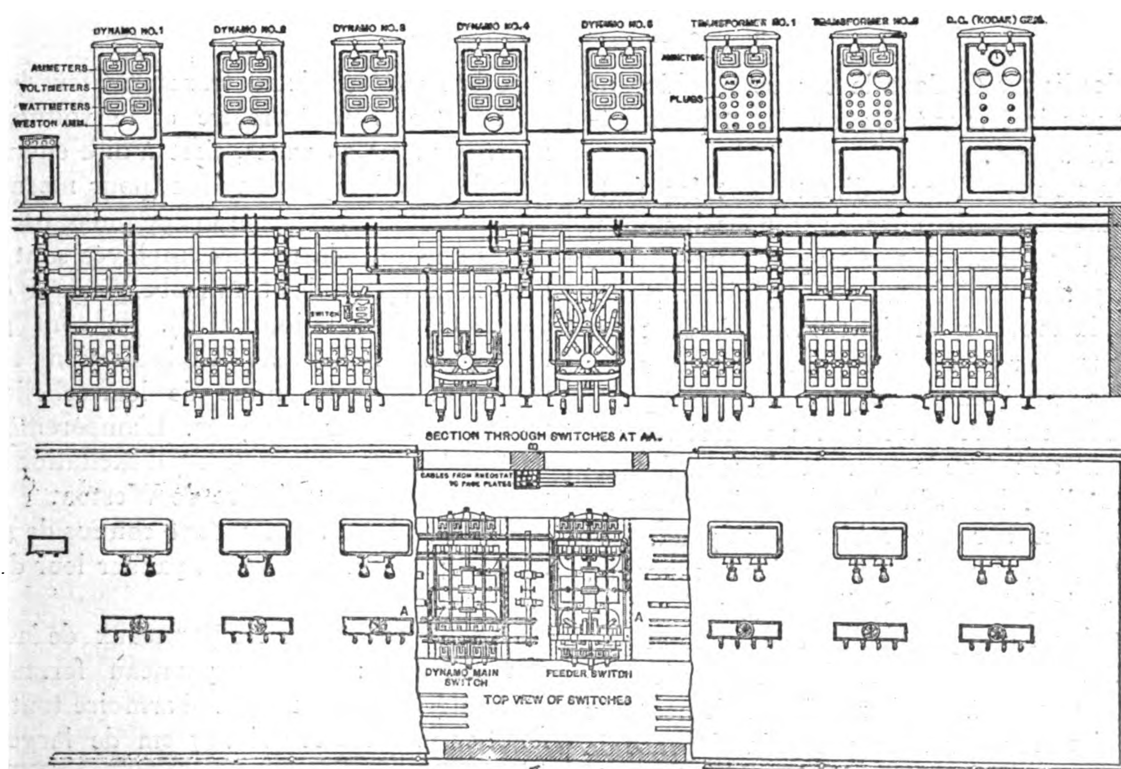


Fig. 46 et 47. — Détails du tableau de distribution.

un circuit local. Dans le premier, sont intercalés en T et T' deux transformateurs amplificateurs et en T'' et T''' deux transformateurs réducteurs, suivant la méthode ordinaire. Cependant les connexions entre ces transformateurs présente ceci de particulier qu'elles permettent de transformer les courants primaires, qui sont biphasés, en un courant secondaire triphasé; ce qui conduit à une économie sensible de cuivre dans les lignes de transmission ; à l'arrivée, les transformateurs T'' et T''' transforment ce courant triphasé en courants biphasés.

Le potentiel employé pour la transmission

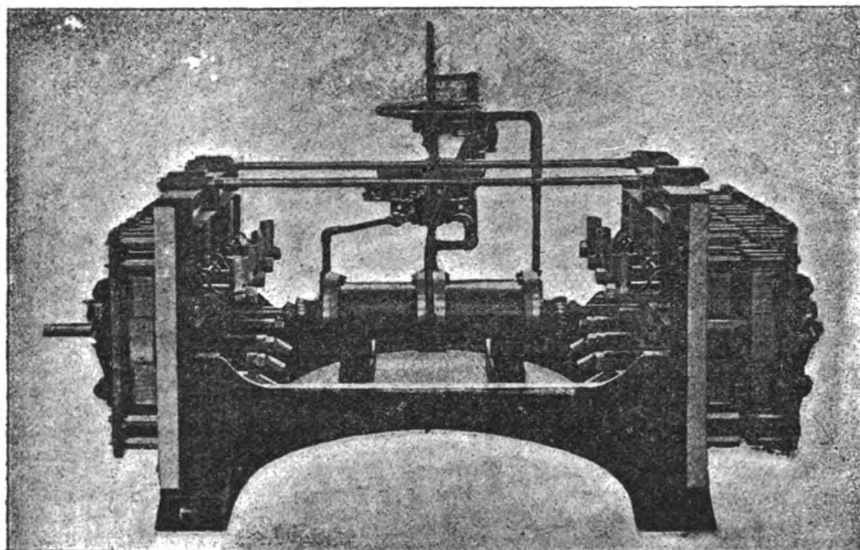


Fig. 48. — Un des commutateurs.

sur les lignes C, dans le cas de Buffalo, ne sera pas inférieur à 10 000 volts et pas supérieur à 25 000.

On ne mesure pas directement les forts courants engendrés par les grandes dynamos, mais des courants induits par ceux-ci dans des petits transformateurs spéciaux placés dans la tourelle, et dont l'enroulement est tel que pour 50 ampères circulant dans les câbles principaux, 1 ampère seulement passe dans les ampèremètres ; Les voltmètres reçoivent de même le courant de transformateurs dont les primaires sont branchés en dérivation sur les câbles principaux. Les watts-mètres reçoivent ces deux courants. On a ainsi l'avantage d'employer des courants beaucoup plus faciles à mesurer et qui, surtout, sont sans aucun danger pour les ouvriers appelés à toucher accidentellement aux circuits de mesure. En outre, la dépense de courant est beaucoup diminuée. L'énergie absorbée par les deux transformateurs, le watt-mètre, l'ampèremètre et le voltmètre ne dépasse pas 30 watts, c'est à dire environ 1/25 de cheval vapeur environ, pour mesurer un courant de 5 000 chevaux de puissance.

Les appareils de mesure employés sont les nouveaux appareils Shallenberger qui ont été décrits dans le journal ([1]). Ils sont garantis comme donnant des indications correctes sur toute l'étendue de leur échelle, à moins de 1 pour 100 près. L'ampèremètre destiné à mesurer le courant d'excitation est un ampèremètre ordinaire de Weston.

Tous ces instruments sont connus de nos lecteurs; nous n'insisterons pas sur leur description.

Ils sont montés sur les panneaux de la façon suivante : Chaque panneau forme le côté antérieur d'une sorte d'armoire tout en fer et en marbre, et qui a 97 cm de largeur,

([1]) *L'Eclairage Electrique*, t. II. p. 509, 1895.

51 cm de profondeur et 214 cm de hauteur. Le côté antérieur est formé, au dessus du socle, par une seule plaque de marbre poli, épaisse de 4.5 cm d'épaisseur, de 91,5 cm de largeur et de 137 cm de hauteur. Cette plaque est percée de 6 ouvertures rectangulaires dans lesquelles viennent s'emboîter les appareils dont les cadrans ressortent en avant, comme on peut le voir sur la figure 43. L'autre côté du meuble est muni de portes à coulisses qui permettent de pénétrer dans l'intérieur, pour inspecter et réparer les appareils.

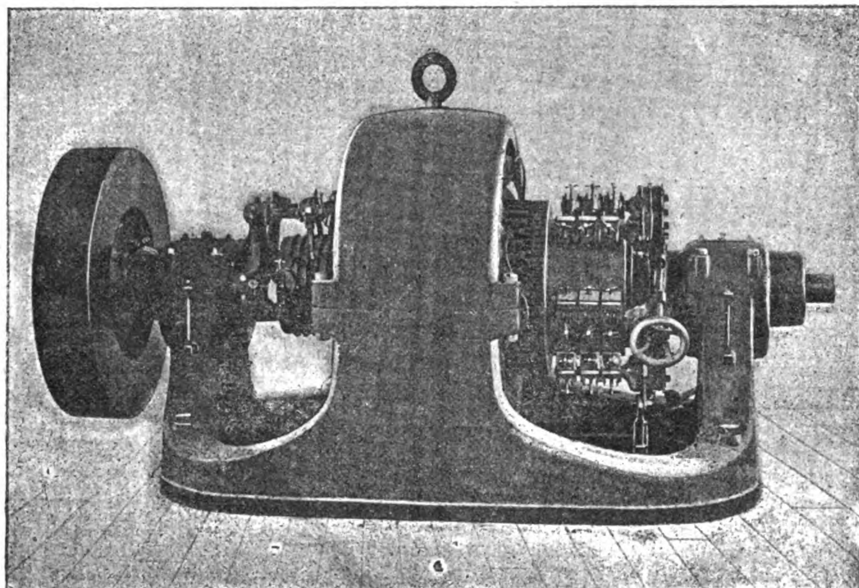


Fig. 49. — Un des transformateurs tournants de 200 km employé comme excitatrice.

En outre, chaque panneau des dynamos porte un indicateur de phase qui est employé lors du couplage en parallèle des dynamos, et les appareils de sécurité ordinaires.

La construction de ces barres générales mérite une mention particulière.

Par suite du mode de connexion des câbles d'amenée du courant et des feeders de distribution au tableau, on voit que le courant maximum qu'il est nécessaire de faire traverser à une section quelconque de ces barres correspond au débit de 3 génératrices, bien que le courant des 5 dynamos passe par un seul des deux systèmes de barres. Ce courant équivaut à environ 3 000 ampères ; en admettant une densité de 150 ampères par cm² de section, il faudrait donner à ces barres une section de 20 cm² environ.

Mais, en raison des dangers que présenteraient ces conducteurs s'ils étaient nus et des dérivations possibles par condensation de l'humidité considérable qui existe forcément au dessus des puits à turbines, il était nécessaire d'isoler ces barres, ce qui diminuait leur refroidissement naturel, et conduisait à augmenter leur surface.

D'un autre côté, la tendance du courant alternatif à se porter à la surface des conducteurs, qui prenait une importance considérable en raison de l'énorme puissance transportée, bien que la fréquence fut faible, empêchait d'employer des conducteurs pleins. La Compagnie Westinghouse s'arrêta donc au dispositif suivant qui a donné pleine satisfaction.

La section médiane de chaque barre est formée d'un tube de cuivre d'environ 7,5 cm de diamètre extérieur et de 6,5 cm de diamètre intérieur. Aux extrémités de ce tube, sont vissés deux autres tubes qui forment la seconde et la quatrième section ; ses dimensions sont moindres ; son diamètre extérieu

est de 5 cm et son diamètre intérieur de 2,75 cm. Enfin, la première et la dernière section de chaque barre sont formées par des barres pleines en cuivre de 2,75 cm de diamètre, vissées aux extrémités des barres précédentes.

Les sections utiles sont bien celles qui conviennent ; en même temps, la surface, à poids égal, est augmentée et l'influence de l'effet de Ferranti est éliminée.

L'isolement est celui d'Habirshaw, qui consiste en couches alternatives de para pur et de gutta vulcanisée ; deux couches successives de chaque substance sont employées, et sur la couche extérieure, un guipage incombustible garantit l'isolant.

La perte maxima dans une série de 4 barres traversées par le courant de 25 000 chevaux à 2 400 volts est moindre que 10 chevaux. Les surfaces de radiation sont donc bien suffisantes.

La figure 48 représente le type de commutateur adopté.

La figure 49 représente un des transformateurs tournants destinés à fournir le courant d'excitation. Ces appareils sont alimentés par le courant des grandes dynamos, dont le potentiel a d'abord été réduit des transformateurs. Ils ont une puissance de 200 kw chacun, et sont construits de la façon suivante :

L'arbre porte un collecteur à une extrémité de l'armature et 4 bagues collectrices à l'autre extrémité. Le courant alternatif à 125 volts arrive à ces bagues qui sont reliées en 4 points équidistants sur l'armature à enroulement en anneau. On recueille un courant continu au collecteur à l'autre extrémité l'appareil agissant comme un moteur et une génératrice combinés dans les mêmes organes. Le courant continu fourni est à 175 volts.

Chacun de ces transformateurs tournants est accompagné de deux transformateurs ordinaires ou *statiques*, d'une puissance de 100 kw chacun. La figure 50 représente les organes principaux de ces derniers qui sont placés dans des réservoirs cylindriques en fer remplis d'huile. Celle-ci est refroidie constamment par de l'eau qui circule dans un serpentin en fer galvanisé, qui est représenté séparément sur la droite de la figure.

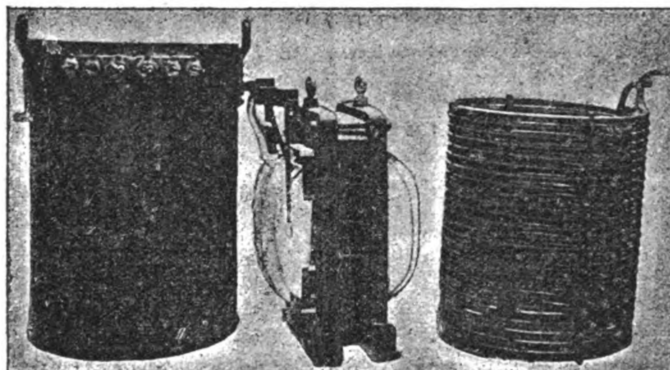


Fig. 50. — Détails d'un transformateur réducteur de 100 km.

Des robinets d'alimentation et de vidange, un indicateur de niveau complètent ces appareils.

(A suivre). G. PELLISSIER.

LE CARBURE DE CALCIUM
ET L'ACÉTYLÈNE (¹)

L'acétylène est un gaz un peu plus léger que l'air et possédant une odeur fortement aliacée. Son poids spécifique rapporté à l'air est de 0,91 ; un litre d'acétylène pèse donc 1,169 gr à 0° et sous la pression de 760 cm. L'eau en dissout son volume et l'alcool environ 6 fois plus.

Le gaz acétylène peut être liquéfié sans difficulté avec des pressions ou des abaissements de température très modérés et plus faibles que s'il s'agissait de l'acide carbonique. Nous préférons ne pas donner de chiffres, car les résultats obtenus varient beaucoup suivant les différents expérimentateurs, peut être à cause de la pureté plus ou moins grande du gaz essayé. Nous ne connaissons pas les dispositifs de détails employés pour la

(¹) Voir l'*Éclairage Électrique*, du 4 avril, p. 5.

préparation de l'acétylène liquide, surtout si l'on ne fait usage d'aucun organe mécanique de compression. Nous avons vu comprimer du gaz acétylène jusqu'à 12 kg, par simple dégagement dans un réservoir fermé, sans qu'il soit nécessaire de refroidir le récimais il est probablepient ; 'que des précautions spéciales sont nécessaires si l'on veut liquéfier l'acétylène par sa propre pression de dégagement.

L'acétylène peut former ainsi qu'il résulte des expériences de M. Le Chatelier, des mélanges explosifs lorsqu'il est mélangé avec une forte proportion d'air ; mais les chances d'explosion qu'il présente sont à peu près semblables à celles du gaz d'éclairage. De ce côté, il n'est donc pas plus dangereux que le gaz ordinaire si l'on a soin de prendre les mêmes précautions. Il faut en particulier purger et nettoyer minutieusement tous les appareils métalliques ayant contenu de l'acétylène avant de faire sur ces objets aucun travail de soudure. Si ces précautions ne sont pas prises une explosion se produit a l'approche de la flamme, soit parce que la légère couche d'acétylène de cuivre ou de fer formée à l'intérieur de force, soit parce que les parcelles de gaz restées dans l'appareil, (l'acétylène doit être considéré comme un gaz dense) étant en présence d'un excès d'air se trouvent précisément dans les conditions favorables d'explosibilité chez deux personnes différentes. Nous connaissons deux accidents survenus à Paris; un tube et un récipient à acétylène sur lesquels on voulait braser des tubulures ont été brisés en morceaux projetés au loin avec violence.

Un autre inconvénient du gaz acétylène vient de ce qu'il est endothermique, c'est à dire que même à l'état *isolé* il peut détoner sous l'influence d'un choc violent ou d'un détonateur, ce qui peut constituer un obstacle à sa distribution dans une canalisation de grande étendue toujours exposée à des chocs imprévus. Il est vrai que jusqu'à présent aucune expérience destinée à vérifier le fait n'a été entreprise et qu'aucun accident dû à cette cause n'a été enregistré, que nous sachions. Il serait désirable que la question fut élucidée par série d'expériences complète et méthodique indiquant d'une façon précise dans quelles conditions et dans quelle mesure l'acétylène employé *seul* est susceptible de détoner.

Les composés de l'acétylène avec les métaux, ou acétylures, ont presque tous la propriété de détoner spontanément. Mais il résulte de nombreuses expériences que l'acétylène n'attaque d'une façon sensible les métaux usuels qu'à haute température. L'acétylure de cuivre en particulier ne se forme en quantité notable que par le passage d'un courant de gaz acétylène dans une solution cuivreuse ammoniacale. Le cuivre rouge n'est attaqué que très légèrement aux températures ordinaires. Néanmoins il n'est pas très prudent de faire passer de l'acétylène dans des conduites en cuivre pur qui se recouvrent au bout d'un certain temps d'un dépôt noirâtre. Quant au laiton, toutes les personnes qui ont fait usage de l'acétylène reconnaissent que dans les conditions ordinaires de température il n'est pas attaqué d'une façon appréciable. On peut donc, sans danger, et ceci est un point important, employer pour l'éclairage à l'acétylène, l'appareillage usuel en laiton servant pour le gaz ordinaire.

Le gaz acétylène possède des propriétés toxiques assez prononcées, mais c'est un reproche que l'on peut aussi adresser au gaz d'éclairage ordinaire. Diverses expériences, faites par MM. Gréhant, Berthelot, Moissan et Brociner, ont montré que l'acétylène ne provoque chez les animaux des accidents mortels que s'il pénètre dans l'organisme en grande quantité, et qu'en tout cas il est un peu moins toxique que le gaz ordinaire.

En somme, les dangers que présente l'acétylène, au point de vue des mélanges explosifs avec l'air et de la toxicité, existent réellement mais sont tout à fait comparables à ceux du gaz d'éclairage ordinaire auxquels l'usage journalier nous a accoutumés.

On sait que les carbures d'hydrogène sont

d'autant plus éclairants qu'ils contiennent une plus forte proportion de carbone dont les particules incandescents donnent la clarté à la flamme. L'acétylène renferme en poids 92,31 pour 100 de carbone et 7,69 d'hydrogène; c'est le carbure d'hydrogène le plus riche en carbone qui soit connu ; il est donc à prévoir qu'il doit donner un pouvoir éclairant considérable. L'expérience confirme cette hypothèse; l'acétylène pur brûle avec une flamme blanche extrêmement éclairante, à condition toutefois que toutes les particules de charbon soient en contact intime avec l'oxygène de l'air, sinon l'on retombe sur la flamme fuligineuse restée longtemps caractéristique de l'acétylène.

Ce résultat ne peut être obtenu que si le gaz sort du brûleur sous forme d'une nappe excessivement mince. Il en résulte la nécessité d'employer des becs spéciaux, soit des becs papillon à fente très étroite, soit des becs Manchester à trous très fins. Ces derniers se composent, comme on sait, de deux trous inclinés donnant naissance à deux jets formant par leur rencontre dans un plan perpendiculaire à la ligne des orifices, une nappe de gaz aplatie, donnant une flamme plus régulière que les becs papillon.

On éprouvait, au début, quelques difficultés à se procurer des becs à acétylène fonctionnant bien, surtout pour les faibles débits; aujourd'hui on trouve communément dans le commerce des becs Manchester, brûlant régulièrement 25 litres à l'heure. On en construit même qui ne consomment que 15 et 11 litres de gaz par heure. On peut réaliser, comme appareils de laboratoire, des becs d'un débit encore plus faible, descendant même jusqu'à 0,3 de litre, avec des tubes de verre capillaires étirés à l'une de leurs extrémités. Il est vrai que tous ces petits becs à ouvertures excessivement fines sont susceptibles de se boucher facilement.

Pour tourner cette difficulté on a proposé de diluer l'acétylène avec un gaz inerte, de façon à obtenir la même intensité lumineuse avec des becs plus gros et par suite plus robustes. Comme gaz inerte, l'acide carbonique ne convient pas très bien; sa densité est trop forte pour qu'il se mélange bien avec l'acétylène. L'azote au contraire forme avec l'acétylène, dont la densité est voisine, un mélange homogène et brûlant bien. L'azote peut être obtenu à bon marché en faisant passer de l'air sur du cuivre porté au rouge. Néanmoins nous ne croyons pas que l'avantage d'employer des becs plus gros compense la dépense supplémentaire causée par la production du gaz inerte, et nous ne voyons pas d'intérêt à employer un mélange, dès l'instant que l'on trouve des becs de faible débit brûlant convenablement le gaz pur.

On peut également brûler un mélange d'acétylène et d'air; mais dans ce cas on doit prendre des précautions spéciales afin d'éviter les mélanges explosifs. Plusieurs dispositifs ont été proposés, par M. Bullier notamment, dans lesquels le gaz et l'air amenés au brûleur par des conduits séparés ne se mélangent qu'au moment de la combustion. Les becs de ce genre, qui n'existent encore qu'à l'état de projet, pourront, s'ils fonctionnent bien, être employés avantageusement parce qu'ils seront plus robustes que les becs ordinaires, et aussi économiques puisque dans ce dernier cas le corps mélangé à l'acétylène ne coûte rien.

La flamme de l'acétylène possède une température très élevée, supérieure à celle du gaz ordinaire, et évaluée par M. Le Châtelier à 2400 degrés. Malgré cette haute température de combustion, les becs à l'acétylène, grâce au pouvoir éclairant considérable du gaz, ne dégagent qu'une quantité de chaleur assez faible. A pouvoir éclairant égal, un bec à acétylène chauffe un peu moins qu'un bec Auer, mais produit une quantité de chaleur environ 3 fois plus forte que celle d'une lampe électrique à incandescence.

On ne peut pas faire varier à volonté la flamme d'un bec à acétylène déterminé en augmentant ou diminuant simplement son débit, comme on le fait avec un bec papillon ou un bec Bengel brûlant du gaz ordinaire. Si la pression reste sensiblement constante

lorsque le débit varie, ce qui est le cas général, un bec à acétylène ne donne une flamme bien blanche que pour un débit donné dont on ne peut guère s'écarter sans rendre la flamme jaunâtre et même fuligineuse.

Un très grand nombre de brevets relatifs à des lampes portatives à acétylène ont été pris dans ces derniers temps, mais bien peu d'appareils ont réellement fonctionné. On a cru voir dans l'acétylène, au début, la solution si longtemps attendue du problème de la lampe domestique de grande puissance lumineuse. Pour notre part, nous ne pensons pas que l'acétylène résolve la question d'une façon pratique. Si l'on veut obtenir une régularité suffisante de la flamme, il ne faut pas songer à brûler directement l'acétylène au dessus d'un briquet à hydrogène, comme dans la lampe Trouvé, en se dispensant d'un régulateur; si l'on veut loger dans le socle d'une lampe un dispositif de réglage en même temps qu'un générateur, on arrive à un appareil d'un fonctionnement délicat et surtout d'une construction trop compliquée. En outre, le chargement du carbure de calcium, dont l'odeur est désagréable, et l'enlèvement de l'eau et de la chaux rendent très incommodes les manipulations des lampes portatives à acétylène.

Ces inconvénients peuvent être évités en se servant d'acétylène liquide emmagasiné dans le corps de la lampe et transformé par un détendeur, également enfermé dans la lampe, en un gaz arrivant au brûleur avec une pression de quelques centimètres d'eau. Malgré la simplicité de l'appareil, il ne nous paraît guère possible de confier sans danger à des mains inexpérimentées une lampe contenant un gaz liquéfié, d'autant plus que le remplissage de cette lampe serait une opération délicate.

D'une manière générale, nous ne croyons pas que l'emploi de l'acétylène liquide prenne un grand développement. Ce corps doit être manipulé avec précaution et le gaz qu'il peut fournir par détente sera toujours plus cher que le gaz employé directement à cause des frais de compression et d'emmagasinement. De plus, le transport de l'acétylène liquide présente un certain danger; la préparation du gaz acétylène par la décomposition du carbure de calcium est une opération si simple qu'il vaut beaucoup mieux transporter du carbure de calcium, qui reste inerte pourvu qu'il soit enfermé dans une boîte soudée, et préparer ensuite sur place l'acétylène gazeux dont on a besoin.

Même s'il est nécessaire de transporter l'acétylène tout préparé, pour l'éclairage des voitures de chemins de fer par exemple, l'acétylène liquide n'offre pas grand avantage sur le produit gazeux qui, emmagasiné sous une pression d'une dizaine de kilogrammes, fournira une durée d'éclairage très grande sous un volume suffisamment réduit.

Quelle que soit son importance, l'installation-type d'éclairage à l'acétylène se compose d'un gazomètre plus ou moins grand, chargé en une seule fois pour plusieurs jours à une pression plus ou moins forte (1 à 10 kg par exemple) au moyen d'un générateur à carbure de calcium. Le gaz emmagasiné dans le gazomètre est ensuite envoyé dans des brûleurs à gaz papillon ou Manchester et consommé au fur et à mesure des besoins, après avoir traversé un régulateur-détendeur qui abaisse sa pression à une valeur constante égale à quelques centimètres d'eau.

Le pouvoir éclairant de l'acétylène est très considérable. D'après des expériences faites avec soin et impartialité, l'acétylène donne en moyenne la carcel avec 7 litres de gaz à l'heure dans les becs un peu intenses et avec 9 litres de gaz à l'heure dans les petits becs, par exemple lorsque l'intensité lumineuse des becs ne dépasse pas une carcel.

Rappelons, pour établir la comparaison avec les autres modes d'éclairage, que la carcel est obtenue avec une consommation par heure de:

140 litres de gaz ordinaire dans les becs		papillon
105 litres	—	Bengel
21 litres	—	à incandescence (genre Auer)

On déduit de ces chiffres que le pouvoir éclairant des bec à acétylène un peu intenses (7 litres par carcel) est égal à :

18	fois 1/2 celui	des becs	à gaz papillon
15	fois	—	Bengel
3	fois	—	à incandescence (genre Auer)

Les becs à gaz riche (gaz d'huile) employés pour l'éclairage des voitures de chemins de fer ont une intensité lumineuse très variable suivant l'état des becs ; on peut admettre, comme chiffre approximatif, que la carcel-heure est obtenue en pratique avec :

40 litres dans les brûleurs ordinaires
28 litres dans les becs intensifs

D'autre part, pour les becs de chemins de fer, qui ont toujours une intensité assez faible n'atteignant par 2 carcels, il faut compter une consommation plus grande qu'on peut évaluer à 8,5 litres par carcel. L'acétylène est donc environ 4,70 fois plus éclairant que le gaz d'huile brulé dans des becs ordinaires et 3,29 fois plus éclairant que le gaz riche brûlé dans des becs à récupération.

Pour achever la comparaison, nous emprunterons à M. Hospitalier quelques chiffres relatifs à l'éclairage au pétrole, à l'huile et à la bougie. La bougie en stéarine produit 1/8 de carcel en consommant 10 gr par heure, à 2 fr le kilogramme. La lampe à huile consomme 42 gr d'huile de colza à l'heure, à 1,40 fr le kg. La lampe à pétrole brûle par carcel heure, 30 gr de pétrole coûtant à Paris 0,70 fr le litre ou 0,90 fr le kilogramme.

Le rendement lumineux de l'électricité diffère complètement suivant que l'on emploie les lampes à arc ou à incandescence. Ces dernières consomment 3 watts par bougie décimale soit 29 watts par carcel. La puissance lumineuse des lampes à arc est si mal définie qu'il est bien difficile de donner un chiffre de consommation; on peut admettre approximativement qu'il faut dépenser dans ces appareils 6 watts par carcel. Le kilowattheure peut être compté 1 fr à Paris.

On sait que le prix du gaz d'éclairage ordinaire à Paris et dans beaucoup d'autres villes est de 0,30 fr le mètre cube.

Le prix du gaz d'huile peut être estimé en moyenne à 0,75 fr le mètre cube.

Reste à voir le prix du mètre cube d'acétylène. Ce prix dépend uniquement de la valeur marchande du carbure de calcium. Le carbure, qui coûtait 3 fr le kg et même plus il y a un an, est payé actuellement, suivant l'importance des commandes, de 0,45 fr à 0,65 fr le kg pris à l'usine. Le carbure peut être obtenu à 0,40 fr le kg par 5000 kg, mais les usines qui font ces conditions étant à l'étranger il faut ajouter au prix d'achat les frais de transport et les 5 pour cent de frais de donane. Par conséquent le prix le plus bas auquel revienne *actuellement* tous frais payés le carbure de calcium, même commandé par grande quantité, n'est pas inférieur à *0,45 fr* le kg.

Un kilogramme de carbure de calcium donnant pratiquement 300 litres d'acétylène le mètre cube de ce gaz revient *actuellement* à *1,50 fr*.

En réalité, ce chiffre ne comprend que le prix d'achat de la matière première sans tenir compte des frais de main-d'œuvre et d'amortissement causés par la fabrication du gaz. A la rigueur, les frais de main-d'œuvre peuvent être négligés parce que l'opération est très simple et peut être faite à temps perdu par un personnel déjà existant, surtout dans les petites installations. La dépense d'amortissement ne serait pas non plus très considérable, parce que les appareils générateurs sont très simples et relativement peu coûteux ; néanmoins ils ne sont pas négligeables ; même dans les plus petites installations. Le prix de 1,50 fr pêche donc légèrement par défaut ; on peut toutefois le conserver sans commettre une grande erreur.

Le carbure de calcium présente cette particularité curieuse qu'à l'encontre de la plupart des produits nouveaux. son prix de vente a atteint d'emblée une valeur très basse et peu éloignée du prix minimum. Ce fait s'explique si l'on réfléchit que le carbure a été fabriqué, dès le début, dans des usines à alu-

minium toutes montées, qui ont utilisé un matériel existant et par suite n'ont fait entrer en ligne de compte que peu ou point de frais d'amortissement dans leur prix de revient.

Si la fabrication prenait une grande extension il n'en serait plus de même, car il faudrait créer des usines spéciales et y installer des turbines et des dynamos très puissantes, conduites par un personnel spécial, d'où création de frais d'amortissement et de main-d'œuvre bien définis, qui entreraient alors tout entiers dans le prix de fabrication du carbure. En outre, le prix des matières premières n'est pas négligeable, car il faut griller au préalable le calcaire pour obtenir de la chaux, et toutes les variétés de charbon ne donnent pas du carbure de bonne qualité.

Si l'on tient compte de toutes ces dépenses on comprend aisément que le chiffre de 400 fr. la tonne est déjà très bas et que le prix de vente du carbure de calcium ne peut baisser à présent que très lentement et d'une très faible quantité. Les directeurs des usines de Neuhausen et de Froges, de même que M. Bullier, nous ont d'ailleurs déclaré que même si la production du carbure devenait considérable ils ne pourraient pas baisser sensiblement leurs prix et que le carbure ne serait pas vendu 0,30 fr. d'ici longtemps.

En comptant l'acétylène à 1,50 fr. le m^3, ce qui correspondant à du carbure à 0,45 le kilog, et en se servant pour les autres modes d'éclairage des chiffres que nous avons indiqués plus haut, on obtient le tableau suivant indiquant le prix de l'éclairage à puissance lumineuse égale.

On doit remarquer que ces chiffres sont établis en donnant un léger avantage à l'acétylène, puisque la dépense de carbure de calcium est seule comptée dans le prix de l'acétylène, tandis que pour les autres modes d'éclairage les prix sont ceux des illuminants au moment de leur combustion.

Maintenant que nous connaissons le prix de l'éclairage à l'acétylène, nous pouvons le comparer d'une façon rationnelle aux autres systèmes d'éclairage.

Mode d'éclairage	Prix de la carcel heure	Prix de la carcel heure rapportée à l'acétylène
Bec à acétylène de fort débit.	0,0105	1
» » de faible débit.	0,0127	
Bec à gaz à incandescence (genre Auer)	0,0063	0,60
Bec à gaz Bengel..........	0,0315	3,00
Bec à gaz papillon.	0,0420	4
Bec à gaz d'huile à récupération.................	0,0210	1,65
Bec à gaz d'huile ordinaire.	0,0300	2,44
Lampe à pétrole..........	0,0270	2,57
Lampe à huile	0,0590	5,61
Bougie..................	0,2000	19
Lampe électrique à arc . ..	0,0060	0,57
Lampe électrique à incandescence	0,0290	2,76

L'éclairage au gaz coûtant avec les becs ordinaires 3 à 4 fois plus que l'acétylène, cette économie considérable aurait probablement décidé il y a 5 ou 6 ans beaucoup de consommateurs de gaz à utiliser leurs appareils en y brûlant de l'acétylène fabriqué chez eux.

Les usines à gaz elles-mêmes auraient eu intérêt, afin de faire concurrence à l'électricité, à rendre leur éclairage moins coûteux en enrichissant leur gaz par l'addition d'une certaine proportion d'acétylène.

Mais à présent que les becs à incandescence ont pris pied partout, la question a changé de face. Le bec à acétylène a bien l'avantage d'être robuste et d'éviter l'emploi du fragile manchon, mais comme il coûte notablement plus cher, il n'a aucune chance d'être préféré au bec Auer. Pour qu'il y ait égalité de prix il faudrait que le mètre cube d'acétylène coûtât 0,90 fr., c'est à dire que le prix du carbure descendit à 270 fr la tonne. En admettant même, ce qui très incertain, que le carbure tombe un peu au-dessous de ce chiffre, les becs à acétylène ne remplaceraient pas encore les becs Auer parce que la légère économie que pourrait procurer le changement serait compensée par l'ennui d'avoir un générateur d'acétylène par abonné ou groupe d'abonnés. Partout où existent des

grandes distributions de gaz, le gaz n'a donc rien à craindre de l'acétylène.

Il en résulte, par le fait même, que la situation des stations centrales électriques n'est pas modifiée par l'entrée en scène de ce nouveau concurrent qui possède les mêmes inconvénients que le gaz ordinaire, dangers d'inflammabilité et d'explosion et fort dégagement de chaleur. L'électricité continuera, grâce à ses qualités propres qui compensent dans bien des cas sa cherté, à soutenir la lutte contre le gaz, rendue plus âpre depuis l'apparition des becs Auer.

Pour l'éclairage des voitures de chemin de fer l'acétylène peut lutter avantageusement contre le gaz d'huile. Il est un peu plus économique que ce dernier et son emploi n'exigerait aucune modification du matériel existant. De plus il a l'avantage de donner la même intensité lumineuse avec un débit trois fois moindre. Il permettrait donc de mettre sur les voitures des réservoirs 3 fois plus petits et 3 fois plus légers tout en conservant la même durée d'éclairage, ou bien de fournir une durée d'éclairage 3 fois plus forte si l'on conservait un réservoir de même capacité.

Ce sont les matières éclairantes usuelles, telles que le pétrole et l'huile, qui auront le plus à souffrir de la concurrence que va leur faire l'acétylène, en raison de la grande économie qu'il procure. Toutefois, en ce qui concerne l'éclairage vraiment domestique, le pétrole, l'huile et la bougie conserveront longtemps encore l'avantage, parce que les lampes portatives à acétylène présentent, comme nous l'avons dit précédemment, plus d'un inconvénient.

Malgré tout, le champ d'action dans lequel l'acétylène pourra s'implanter avec succès est encore très vaste. Le gaz acétylène trouvera de nombreuses applications dans les installations *isolées* d'éclairage de *moyenne importance* établies dans des localités où n'existe pas de distribution de gaz ou d'électricité. L'acétylène convient très bien, par exemple, pour les villas, hôtels, casinos, gares, écoles, etc., où il permettra de donner un éclairage plus économique et plus intense que l'huile, le pétrole et même la lampe à incandescence, au moyen d'une petite installation simple, peu coûteuse à établir, et facile à conduire. De ce côté, l'acétylène pourra faire pas mal de tort aux installations particulières d'éclairage électrique installées avec des moteurs à gaz ou de petits moteurs à vapeur.

L'acétylène étant un gaz de composition fixe, et non pas un mélange en proportions toujours variables de divers produits carburés, peut constituer un bon étalon, d'autant plus qu'il brûle avec une grande fixité. MM. Fessenden et Violle ont déjà réalisé des lampes étalons de ce genre.

Nous ne ferons que signaler les applications chimiques diverses de l'acétylène qui ont été proposées : fabrication de la nitrobenzine, de l'aniline, de l'aldéhyde, du sucre et de l'alcool, affinage du fer, etc.

L'acétylène pourra être employé peut-être avec avantage pour l'alimentation des moteurs à gaz ; car d'après les travaux de M. Le Châtelier, sa température d'inflammation, voisine de 500° est très basse et il forme des mélanges facilement explosifs, lorsqu'il est mélangé en faible quantité avec de l'air. Si l'acétylène était trouvé plus économique que le gaz d'éclairage et le gaz pauvre, on pourrait produire la lumière électrique à l'aide de moteurs à acétylène. On verrait alors un phénomène curieux le courant de basse tension de la dynamo d'électrolyse après avoir été transformé tour à tour en carbure de calcium, en acétylène et en courant d'éclairage, et avoir effectué un cycle complet, fournirait une somme de lumière plus considérable que s'il avait été utilisé directement. Ce serait une solution originale autant que détournée du problème de l'utilisation des chutes d'eau à l'éclairage électrique..... par l'intermédiaire d'une dynamo d'électrolyse, d'un four à carbure, d'un générateur d'acétylène, d'un moteur à gaz acétylène et d'une dynamo d'éclairage !

Ch. Jacquin.

SUR LES RAYONS DE ROENTGEN

I. — Parmi les questions soulevées par la découverte de Roentgen, l'une des plus intéressantes et des plus étudiées pour l'instant est la suivante : Les rayons cathodiques à l'extérieur du tube où ils ont pris naissance, c'est à dire les rayons X ou de Roentgen, agissent-ils immédiatement sur la couche sensible d'une plaque photographique, ou bien agissent-ils par l'intermédiaire de la fluorescence ?

A cause de l'importance de cette question j'ai cru utile d'attirer l'attention sur les faits suivants :

a) D'après Hoffmans (dans une brochure récemment publiée à Maestricht), deux centres de rayonnement agissant simultanément sur un même objet (couche sensible) ne produisent pas une augmentation de l'effet, mais paraissent au contraire se gêner mutuellement.

b) D'après Zenger (*Comptes rendus*, t. CXXII, p. 456 ou *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 473) et d'autres savants (voir *Photographische Mittheilungen*, t. XXXII, n° 21) les plaques imprégnées d'éosine sont plus fortement influencées que les plaques normales pour une même durée d'exposition.

c). D'après Lenard (*Wied. Ann.*, t. LI, p. 230 et 231 ou *La Lumière Électrique*, t. LII, p. 294 et 295) la gélatine à l'éosine ne montre pas de fluorescence sous l'action des rayons cathodiques extérieurs bien qu'elle soit très vivement fluorescente sous l'action de la lumière ordinaire [1].

Pour élucider la question de l'action directe ou indirecte des rayons Roentgen sur la couche sensible, il y aurait donc intérêt à vérifier si la gêne réciproque de deux rayonnements primaires existe aussi pour un centre de rayonnement primaire et un centre de rayonnement secondaire ou fluorescent. S'il en était ainsi la sensibilité particulière que présentent les plaques à l'éosine n'augmenterait pas la vraisemblance que l'action des rayons Roentgen sur la couche sensible soit due à une fluorescence.

II. — Comme on ne connait pas de milieu réfringent pour les rayons Roentgen et apte à faire des lentilles, et que, d'autre part, ces rayons ne sont pas ou presque pas réfléchis par les objets, on n'a pu appliquer à la production d'images par ces rayons le procédé suivi dans la photographie ordinaire et les actinogrammes obtenus jusqu'ici ne sont que des silhouettes. J'ai néanmoins essayé d'obtenir des « images superficielles » et j'ai obtenu quelques résultats par la disposition suivante : Trois tubes de verre de nature différente étaient placés les uns à côté des autres ; sur ces tubes étaient disposées deux petites balles de plomb, métal très peu perméable aux

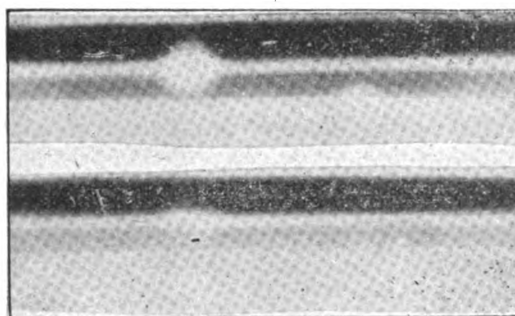


Fig. 1. — Images photographiques obtenues par phosphorescence.

[1] Dans le Mémoire original, p. 259, § 3, sqq, le mot « phosphorescence », qui indique habituellement la propriété de certains corps de rayonner *après* l' « irrayonnement » (mot généralisé d' « insolation ») est employé dans le sens de « fluorescence » ou propriété de rayonner avec une autre longueur d'onde *pendant* l'irrayonnement, car là où il s'agit de phosphorescence dans le sens propre de rayonner *après* l'irrayonnement, M. Lenard s'est servi du mot « nachleuchten ». Il convient donc évidemment de donner au mot « phosphorescente » de la page 231, 2e ligne, la signification de « fluorescente » dans le sens propre de rayonner *pendant* l'irrayonnement, ce qui d'ailleurs est rendu certain par l'observation (même page) que les solutions d'éosine, fluorescence, etc « *qui sont fluorescentes au jour* », ne montrent pas cette particularité sous l'action des rayons cathodiques à l'extérieur du tube, « *se comportant sous ce rapport comme la gélatine à l'éosine* ».

rayons Roentgen, le tout était soumis à l'action de ces rayons. Après 15 minutes de pose l'action de ces rayons était suspendue, les balles de plomb retirées et les tubes de verre, qui ne présentaient aucune phosphorence visible, étaient recouverts d'une couche sensible, soit immédiatement après l'irrayonnement, soit au bout de quelques heures. La partie supérieure de la figure 1 représente (en négatif) l'image obtenue, le 1er février dernier, en laissant la couche sensible dans la position indiquée pendant deux heures, commençant immédiatement après l'irrayonnement; l'image de la partie inférieure a été obtenue en plaçant la couche sensible au-dessus des tubes 10 heures seulement après l'irrayonnement et la maintenant pendant 20 heures dans cette position. Sur ces images on voit assez nettement l'emplacement des deux balles de plomb; sur les négatifs originaux on peut distinguer quelques détails de la surface des tubes. J'ajoute que, ayant conservé les tubes dans l'obscurité pendant 8 jours, j'ai réussi à obtenir, le 8 février, un nouveau négatif après 24 heures de pose; l'emplacement des balles de plomb n'y était plus visible, mais la vigueur du cliché était du même ordre que celle du négatif inférieur de la figure 1.

Outre l'intérêt que présente cette expérience au point de vue de l'étude de la phosphorescence, elle permet d'espérer que l'on pourra obtenir au moyen des rayons Roentgen, des images superficielles d'objets entourés de substances perméables à ces rayons, mais opaques pour la lumière ordinaire, si ces objets sont phosphorescents. J'ai recherché si les os se trouvent dans ce cas, mais je n'ai pu arriver jusqu'ici à aucun résultat certain.

J. J. Taudin Chabot.

L'EXPOSITION DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Comme les années précédentes, l'Exposition annuelle de la Société de Physique a eu lieu le mardi et le mercredi de Pâques dans l'Hôtel de la Société d'Encouragement. Si l'on en juge par le nombre toujours croissant des visiteurs, le succès de cette Exposition va en s'accentuant d'année en année. Ce n'est pas cependant que les appareils réellement nouveaux y soient très nombreux, mais comme il est entendu que l'un des buts de l'Exposition est de mettre sous les yeux du public spécial auquel elle s'adresse, non seulement les appareils présentés à la Société pendant l'année, mais également ceux qui intéressent l'enseignement ou l'industrie, on ne saurait faire un reproche aux contructeurs d'exposer des appareils déjà connus, si ces appareils ont quelque valeur. D'ailleurs cette année, grâce aux rayons Roentgen et à l'acétylène, la nouveauté ne manquait pas.

Jusqu'ici l'électricité régnait en maîtresse dans l'éclairage des salles d'exposition et des diverses parties de l'hôtel. Cette année, trois des modes d'éclairage qui se disputent actuellement les faveurs du public se trouvaient représentés : les salles d'exposition du premier étage et le grand escalier étaient éclairés par des lampes Cance, que nos lecteurs connaissent de longue date ; la porte d'entrée et la salle du Conseil étaient éclairées par les appareils à incandescence par le gaz de la Société française de l'héliogène; des becs Bandsept surmontés de manchons incandescents étaient placés en bas de l'escalier; enfin l'éclairage du vestibule et de la rampe surmontant la porte d'entrée était fait par M. Trouvé, au moyen de l'acétylène.

L'article que publie dans ce numéro, notre collaborateur M. Jacquin nous dispense d'insister sur ce dernier mode d'éclairage ; nous nous bornerons à dire qu'il est très brillant et capable de rivaliser avec l'éclairage à arc.

L'appareil employé par la Société de l'Héliogène consiste en un ou plusieurs becs papillons permettant de débiter le gaz sous forme de nappe très mince et de porter à l'incandescence les filaments d'une *plume*, constituée par des brins de fils noués sur un fil métallique infusible ; ce fil est posé hori-

zontalement, au dessus du ou des brûleurs, sur une sorte d'étrier en nickel fixé au brûleur par une bague. Ce genre d'irradiateur présente sur les manchons ordinairement employés pour l'incandescence par le gaz quelques avantages : il est moins fragile et l'allumage peut être effectué sans prendre les précautions nécessaires pour l'allumage des becs à manchons ; il ne demande d'autre protecteur qu'un globe ordinaire et supprime par suite l'emploi des cheminées de verre ; enfin l'incinération de la plume s'effectue lorsque celle-ci est placée sur son support de sorte que les difficultés que présente le transport des manchons incinérés se trouvent évitées. Mais il nous semble que ces avantages se trouvent largement compensés par une moins bonne répartition de la lumière, la

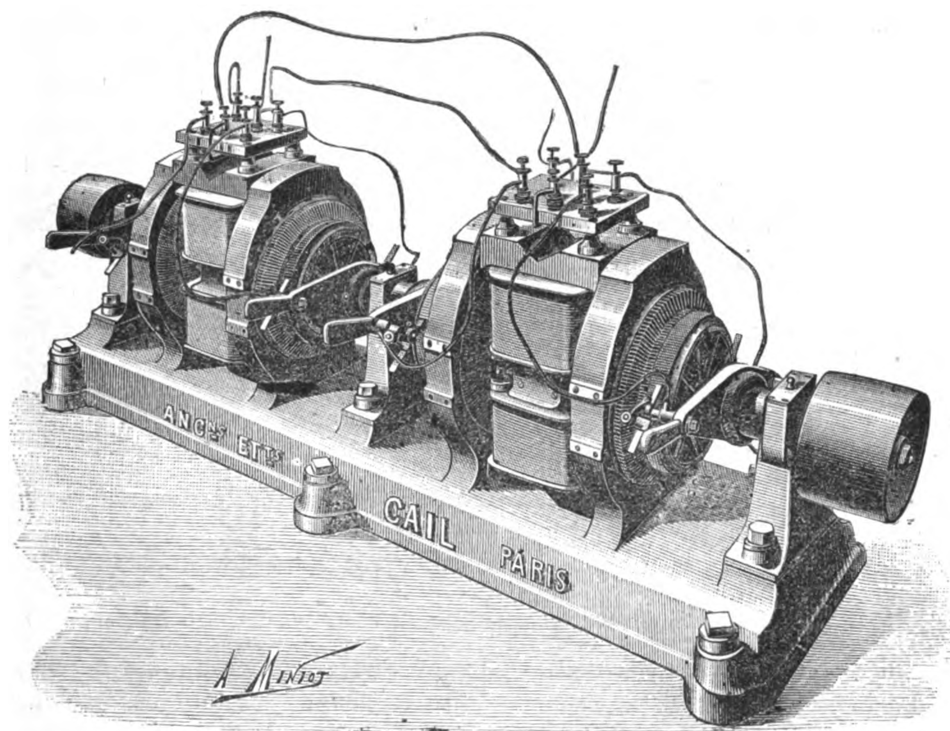


Fig. 1. — Vue d'ensemble de la dynamo Cail-Helmer.

forme cylindrique des manchons nous paraissant bien préférable dans ce but ; c'est d'ailleurs à l'expérience de se prononcer sur ce point.

Dans le vestibule, la Société des anciens établissements Cail exposait la dynamo Cail-Helmer que représentent les figures 1 à 3 et qui a été précédemment décrite dans ce journal par M. Hurmuzescu (¹).

Rappelons que cette dynamo comprend quatre anneaux pouvant être reliés en série ou en dérivation de différentes manières et quelle peut fournir, pour une vitesse de rotation de 1000 tours par minute, un courant de 0,2 ampère environ sous 4000 volts.

A côté et exposé par la même Société, se trouvait l'appareil de M. Helmer destiné à la mesure de la perméabilité magnétique du fer et de l'acier et dont les grandes dimensions attiraient le regard.

On sait qu'en principe cette mesure revient à déterminer la valeur $\mathcal{H}$ d'un champ magnétique uniforme et la valeur $\mathcal{B}$ de l'induction magnétique qui prend naissance quand on

(¹) Hurmuzescu. Sur une dynamo de laboratoire à haut potentiel (*L'Eclairage Electrique*, t. VI, p. 211, 1er février 1896).

introduit dans ce champ l'échantillon du métal a examiner. Le champ étant produit par un solénoïde de grande longueur la détermination de $\mathcal{H}$ revient à celle des dimensions du solénoïde et de l'intensité du courant qui le traverse : en appelant n le nombre de tours du fil du solénoïde par unité de longueur, et I l'intensité du courant en unités électromagnétiques, on a

$$\mathcal{H} = 4 \pi n I. \quad (1)$$

Quant à l'induction magnétique $\mathfrak{B}$ elle peut se déterminer par deux méthodes : la méthode balistique et celle de l'arrachement. Dans la première on renverse brusquement la direction du champ magnétique, renversement qui a pour effet de faire varier le flux d'induction qui traverse une section de l'échantillon de $+\mathfrak{B}S$ à $-\mathfrak{B}S$, c'est à dire de produire une variation $2\mathfrak{B}S$, S étant la section de l'échantillon. Dans la seconde on détermine le poids

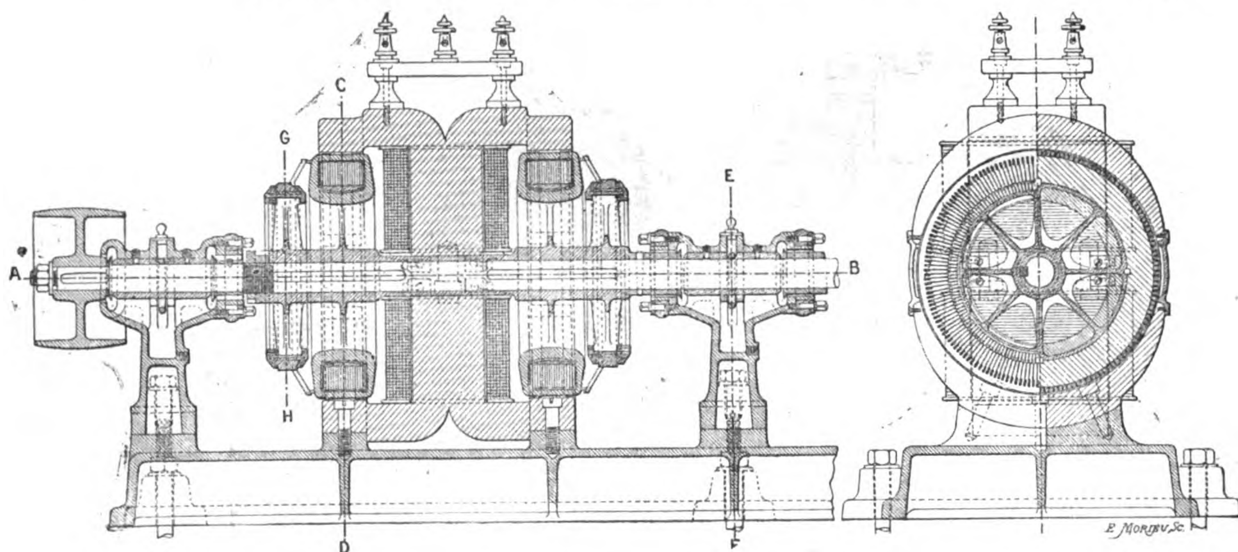


Fig. 2 et 3. — Coupes longitudinale et transversale de la dynamo Cail-Helmer.

P qui est nécessaire pour arracher l'échantillon, mis sous forme d'une barre cylindrique, d'une armature fixée à l'une des extrémités du solénoïde, et si ce poids est exprimé en dynes on a

$$P = \frac{(\mathfrak{B} - \mathcal{H}) S}{8 \pi}, \quad (2)$$

relation qui donne $\mathfrak{B}$.

Mais cette dernière méthode exige que la surface d'arrachement S soit assez considérable, autrement la plus légère imperfection dans le contact de l'échantillon et de l'armature a une influence considérable sur la valeur du poids qui produit l'arrachement et les résultats obtenus ne sont pas comparables. Or, si l'on donne à S une valeur assez grande il faut, pour que le solénoïde puisse être considéré comme infini ainsi que le suppose la formule (1), que la longueur de ce solénoïde soit très grande; ce sont ces raisons qui ont déterminé M. Helmer à donner à son perméamètre de grandes dimensions.

Dans cet appareil le solénoïde, formé de 3 480 tours d'un fil de 0,2 cm de diamètre, a une longueur de 89,7 cm. Il est enfermé dans un canon de 80 mm d'ouverture dont la bouche est fermée par un bouchon d'acier percé suivant son axe d'un trou cylindrique destiné à laisser passer la tige d'échantillon et dont la culasse est remplacée par un cône d'acier. Ce canon est suspendu, la bouche en bas, par une suspension à la Cardan qui permet à la tige d'échantillon de se placer suivant la verticale; cette tige a 2,13 cm de diamètre et porte à sa partie inférieure un plateau que l'on charge de poids lorsqu'on opère par la méthode d'arrachement. Si l'on lance dans

le solénoïde un courant de 12 ampères, ce qui correspond à une densité de courant de 400 ampères par centimètre carré que le fil peut supporter pendant un temps assez court mais largement suffisant pour effectuer l'essai, on a pour la force magnétisante

$$\mathcal{H} = 4 \times 3{,}14 \times \frac{3480}{89{,}7} \times 12 \times 10^{-1} = 581 \text{ C.G.S.}$$

Quant à l'induction correspondante, il est facile de voir que, d'après la formule (2) elle est donnée par l'expression

$$\mathcal{B} = 4{,}965\sqrt{\frac{P_1}{S}} + \mathcal{H},$$

P_1 étant la somme des poids en kilogrammes de la tige d'échantillon (4,575 kg), du plateau (8,195 kg) et des poids ajoutés dans ce dernier. Les expériences faites par M. Helmer avec cet appareil montrent qu'il répond parfaitement au but qu'il s'était proposé.

Ajoutons que ce perméamètre permet également d'employer la méthode balistique, ce qui fournit un moyen de contrôle de la première méthode. Pour cela quelques spires du grand solénoïde sont supprimées au milieu de sa longueur et remplacées par une petite bobine formée de 286 tours d'un fil de 0,05 cm de diamètre.

Dans la petite salle d'exposition du premier étage nous rencontrons des appareils déjà connus de nos lecteurs : les accumulateurs à navettes de M. René Blot (1) et les bacs pour accumulateurs de la manufacture de Saint Gobain dont le mode de moulage a été décrit récemment par M. Sartiaux (2). L'un des bacs rectangulaires exposés avait une hauteur de 55 cm de hauteur et une capacité de 92 lettres; les bacs de ce modèle sont couramment employés par la Compagnie des chemins de fer du Nord dans la construction de ses accumulateurs. On remarquait en outre : deux grands bacs cylindriques de 1 m de hauteur et de 200 litres de capacité destinés à la conservation des acides et des huiles ; divers modèles d'isolateurs et de crémaillères ; et enfin une glace d'opaline, substance qui remplace avantageusement le marbre et l'ardoise dans la construction des tableaux de distribution.

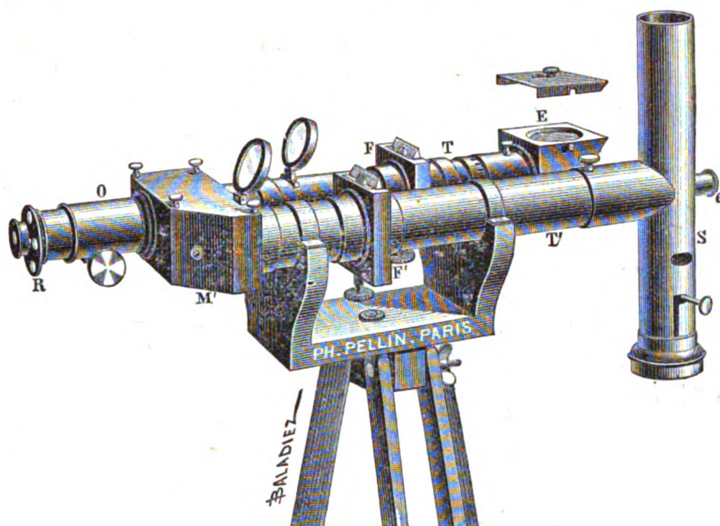


Fig. 4. — Vue d'ensemble du photomètre Mascart.

Parmi les nombreux instruments d'optique exposés par M. Ph. Pellin, il est utile de signaler, au moment où la photométrie est à l'ordre du jour des congrès scientifiques, la collection complète de photomètres qu'on y remarquait.

Les figures 4 et 5 donnent une vue d'ensemble et une coupe schématique du photo-

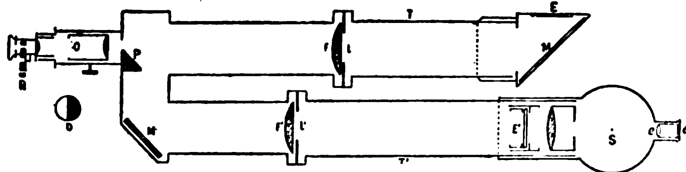


Fig. 5. — Coupe schématique du photomètre Mascart.

(1) *L'Eclairage Electrique*, t. IV, p. 290 et 432 ; t. VI, p. 36 et 132.

(2) *L'Eclairage Electrique*, t. VI, p. 157.

mètre de M. Mascart décrit dans les colonnes de la *Lumière Électrique* (¹). La figure 6 représente un modèle de ce photomètre de 30 cm seulement de longueur et pouvant être tenu

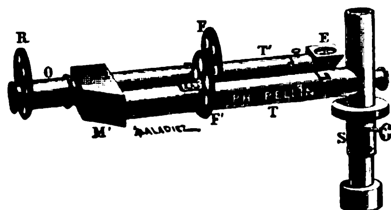


Fig. 6. — Vue du petit modèle du photomètre Mascart-Pellin.

à la main ; il ne diffère du grand modèle qu'en ce que les volets à mouvement continu qui modifient l'ouverture des lentilles sont remplacés par des disques percés de trous dont les surfaces varient les nombres 1, 1/2, 1/3, 1/4 et 1/5 ; il permet de mesurer facilement un éclairement variant entre 2/3 et 15 carcelmètres.

La figure 7 représente le spectro-photomètre différentiel à lentilles diaphragmées de M. d'Arsonval. H, R, N et I représentent respectivement le collimateur, le prisme, le tube porte-échelle et la lunette d'un spectroscope ordinaire de Bunsen ; O est la partie photométrique proprement dite. Elle se compose de deux tubes parallèles superposés,

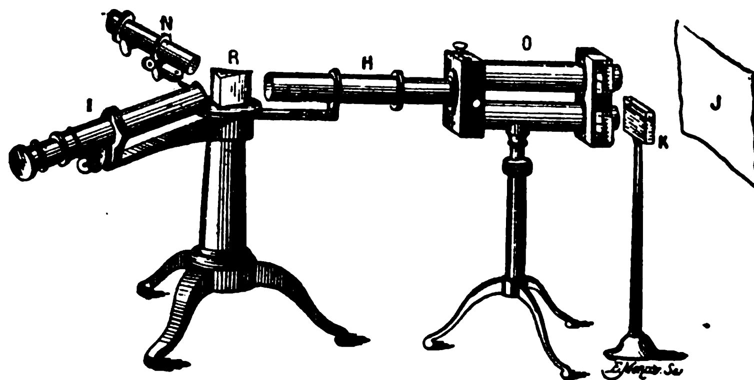


Fig. 7. — Spectrophotomètre différentiel de d'Arsonval.

fermés à leurs extrémités antérieures par deux lentilles derrière lesquelles sont placés deux diaphragmes à ouvertures variables commandés par une petite molette de manière que la surface de l'une des ouvertures augmente pendant que celle de l'autre diminue. Aux extrémités postérieures des tubes se trouvent deux parallélipipèdes transparents qui renvoient les rayons lumineux ayant traversé les tubes sur la fente du collimateur du spectroscope ; on a ainsi deux spectres juxtaposées ; si l'on veut étudier le pouvoir absorbant d'une dissolution pour une radiation déterminée, on place cette dissolution dans une cuve K devant laquelle se trouve une surface uniformément éclairée J, et, en faisant varier les surfaces des ouvertures des niaphragmes, on amène à l'égalité d'éclairement les régions des deux spectres qui correspondent à la radiation considérée ; le rapport des surfaces des ouvertures des diaphragmes donne le rapport inverse intensités de la radiation avant et après l'absorption. Si l'on veut comparer les intensités d'une même radiation, on place en avant des tubes O deux prismes à réflexion totale qui renvoient dans l'appareil les rayons émanant de chacune des sources et l'on opère comme précédemment.

La figure 8 représente l'application du diaphragme photométrique de M. Crova à un un photomètre de Foucault (en B et B') et à

(¹) *La Lumière Électrique*, t. XXVIII, p. 114, 21 avril 1888.

un photomètre de Bunsen ou tout autre photomètre à vision binoculaire (en A et A'), diaphragme photométrique qui permet de mesurer facilement le degré d'incandescence d'une lampe.

Rappelons que d'après les résolutions du Congrès des Electriciens du 27 avril 1889 on appelle degré d'incandescence d'une lampe le quotient des intensités (relatives à la Carcel) des radiations de la longueur d'onde $\lambda = 582$ et des radiations de la longueur d'onde $\lambda = 657$.

Pratiquement la première intensité s'obtient en plaçant devant l'œil une épaisseur de 7 mm d'une solution de chlorure de nickel et de chlorure de fer, et la seconde en disposant devant l'œil un verre rouge. La coulisse,

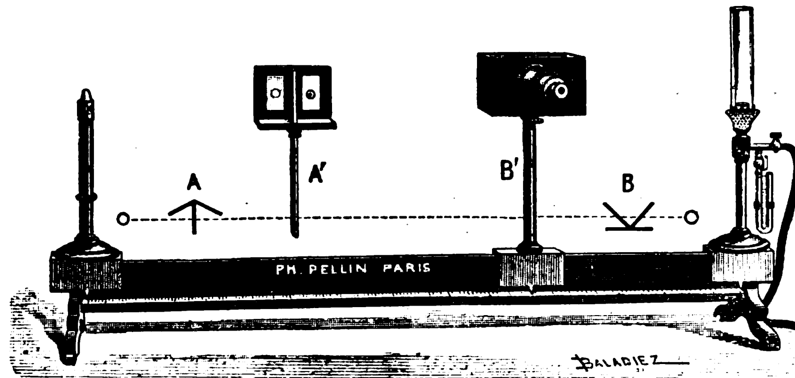
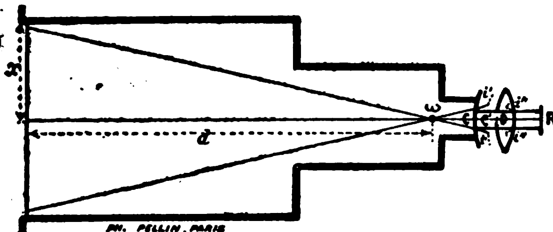


Fig. 8. — Application du diaphragme photométrique de M. Crova à un photomètre de Foucault et à un photomètre de Bunsen.

construite par M. Pellin sur les indications de M. Crova et pouvant s'adapter à tous les photomètres, permet d'effectuer rapidement



PUPILLOMÈTRE DE M. CHARLES HENRY
servant particulièrement à démontrer et à doser l'action propre de la lumière sur l'iris.

ω *Petit trou, d, longueur de l'instrumt à partir du trou, x rayon de l'écran.*
C *Cornée.*
C' *Position de l'image de la pupille fournie par l'humeur aqueuse,*
D *Face antérieure du cristallin.*
R *Rétine.*
i *Pupille vraie.*
i'i' *Image de la pupille donnée par l'humeur aqueuse.*
i''i'' *Image de la pupille donnée par le cristallin.*

Fig. 9. — Pupillomètre de M. Charles Henry.

ces deux mesures ; cette coulisse peut se fixer dans trois positions ; dans la première, on regarde l'écran photométrique à travers la cuve à chlorures de fer et de nickel ; dans la seconde, l'observation se fait à travers le verre rouge ; dans la troisième, l'observation se fait à l'œil nu de manière à se rendre compte de la différence des teintes de la Carcel et de la lampe étudiée.

Parmi les autres instruments exposés par la maison Pellin, citons encore le photomètre de M. Violle, le microphotomètre de M. Cornu et le pupillomètre de M. Charles Henry (fig. 9) dont nos lecteurs connaissent le mode d'emploi par les articles qu'a publiés l'auteur dans ce journal [1].

Signalons encore, dans le domaine de la photométrie, l'étalon photométrique a l'acétylène de M. Violle dont nous avons parlé récemment [2].

En parcourant les salles d'exposition, nous avons encore rencontré plusieurs autres appareils intéressants.

[1] *La Lumière Électrique*, t. LII, p. 451, 510, 614 et l'*Éclairage Électrique*, t. I, p. 337, 529.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 178 et 332.

Citons la dynamo à courant continu présentée par M. Rechniewsky et construite par les établissements Postel-Vinay, donnant, à la vitesse de 720 tours par minute, 100 volts et 310 ampères ou 160 volts et 260 ampères et destinée à l'éclairage de l'Hôtel de Ville de Paris ; le wattmètre universel de MM. Blondel et Labour ; le phonographe simplifié de M. Lioret, présenté par M. Chomeau ; les appareils de mesures exposés par MM. Chauvin et Arnoux ; les appareils enregistreurs de M. Jules Richard ; le planimètre de Pritz, présenté par M. Hospitalier, etc.

Mais le moment du tirage de ce numéro ne nous permettant pas de nous attarder plus longtemps, nous en renvoyons la description à huitaine.

J. Blondin.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Four à carbure de calcium Gearing (1895).

Dans ce four, l'arc une fois amorcé, le charbon 1 reçoit automatiquement, de la vis sans fin 4 et de son pignon 5, un mouvement de

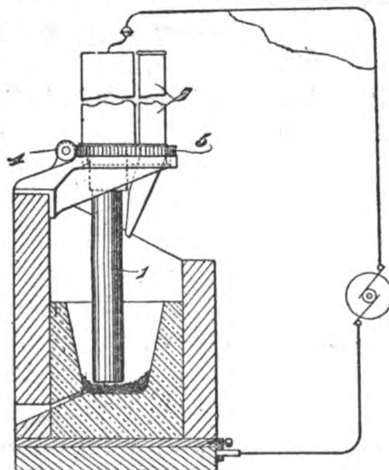


Fig. 1.— Four à carbure de calcium Gearing.

rotation autour de l'axe du circuit, en entraînant dans son mouvement la trémie de chargement 7. Les matières du creuset sont ainsi actionnées plus uniformément et sans cesse mélangées pendant l'opération.

G. R.

Commutateur Immish et Moy (1894).

Le bras a de ce commutateur a ses deux balais b b, à touches d et c c c ... montés dans des pinces a^1, fixées sur a par des vis a^3 a^3, et reliés entre eux par un étrier à vis a^2 a^2. Quand l'un des balais b vient à s'user, on desserre ses vis a^3, et l'on pousse, par a^2 a^2, sa fourche a^1 vers ses touches, jusqu'au rattrapage de son jeu, puis on resserre ses vis a^3.

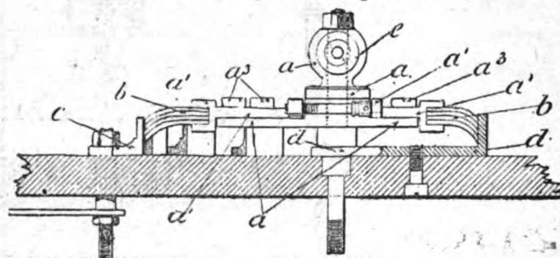


Fig. 1 et 2. — Coupe verticale et plan du commutateur Immish et Moy.

G. R.

Commutateur automatique de sûreté Rowand (1895).

Le principe de l'appareil consiste (fig. 1) à intercaler, en dérivation à l'origine D du cir-

cuit à protéger BD, un électro-aimant E, de résistance plus grande que celle du circuit, et qui au cas, par exemple, d'une rupture de ce circuit attire son armature C et la coupe dès l'origine par la poussée du ressort C sur A de sorte que le fil rompu ne présente plus aucun danger.

Dans les circuits multiples on peut disposer plusieurs de ces commutateurs X comme

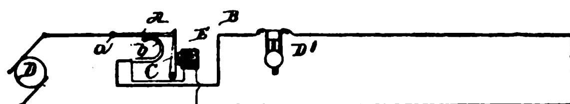


Fig. 1.— Commutateur automatique de sûreté Rowand (1895).

(fig.) en 1 près de la dynamo en 2 au départ du circuit principal, en 3 au départ de l'embranchement 3, et chacun de ces commutateurs est pourvu (fig.) d'un collecteur F F_1.. à 1, 2, 3 touches f avec balais f_1 et solidaires (fig.) d'un train d'horlogerie f_1 G, ordinairement enclanché en gh par le doight H de l'armature C. Dès que ce levier se lève par l'attraction de E ou à la main, par l'action de la corde j sur le levier J, le mouvement d'horlogerie part et envoie le signal de rupture correspondant.

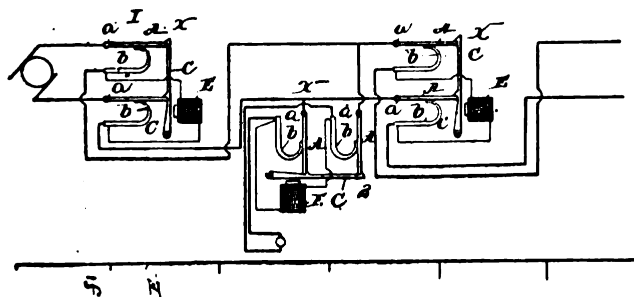


Fig. 1.

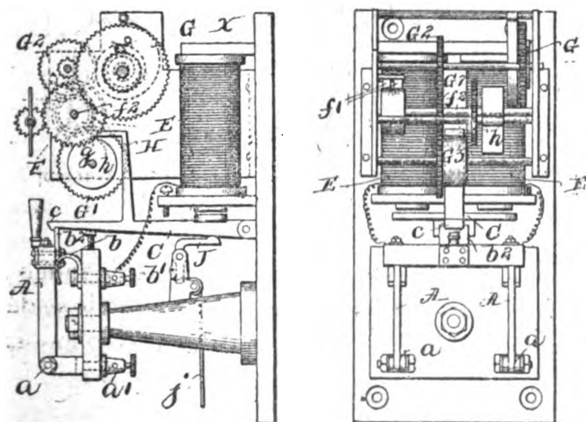


Fig. 3 et 4.

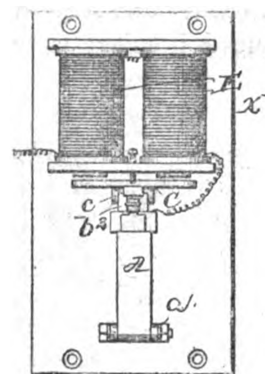


Fig. 5.

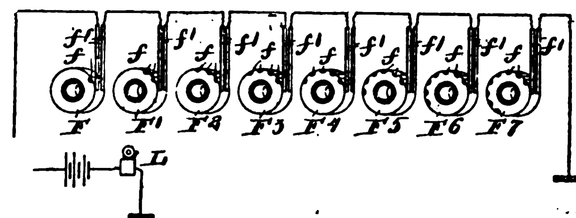


Fig. 6.

G. R.

Machine à rotation rapide, de M. Raworth (¹)

Dans un article du 28 février, l'*Engineering* après avoir étudié les différents modes d'entraînements des dynamos génératrices, constate qu'en Angleterre on a donné, parmi les machines à vapeur, la préférence aux moteurs à rotation rapide. Pourtant, dit-il, la question n'est pas encore complètement résolue lorsqu'il s'agit des alternateurs, mais personne ne semble s'arrêter à l'idée d'une machine de vitesse rotative moyenne et tout porte à croire que les machines rapides triompheront.

Le reproche qui leur est fait le plus généralement est leur grande dépense de charbon.

(¹) *Engineering* du 28 février, p. 278.

Avec les soupapes ou les tiroirs ordinaires, les espaces nuisibles sont trop considérables, si l'on veut laisser une section suffisante aux passages que doit suivre la vapeur.

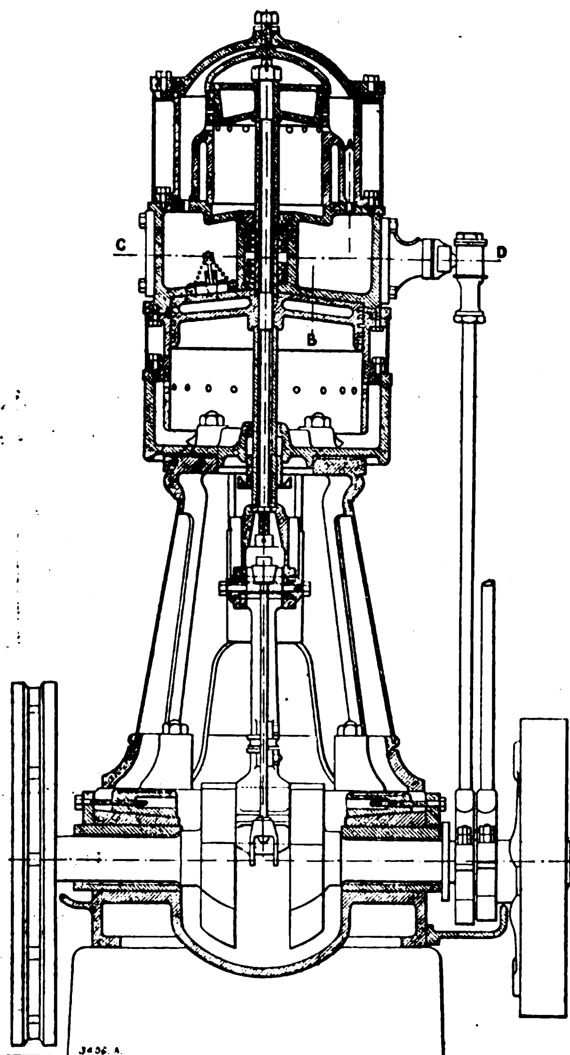


Fig. 1. — Coupe dans une machine à grande vitesse de M. Raworth faite par un plan vertical passant entre les deux soupapes de régulation.

C'est pour éviter cet inconvénient que M. Raworth a imaginé son nouveau type de machine. Les figures (1) et (2) donnent une vue d'ensemble qui permet de constater qu'il a atteint le but qu'il s'était proposé. Sur la figure 2 en effet, on voit les deux soupapes Corliss qui produisent la régulation de la machine. Elles sont placées entre deux cylindres où la vapeur ne travaille jamais que d'un côté du piston : celui d'en dessous pour le cylindre supérieur ou l'admetteur, celui d'en dessus pour le détendeur.

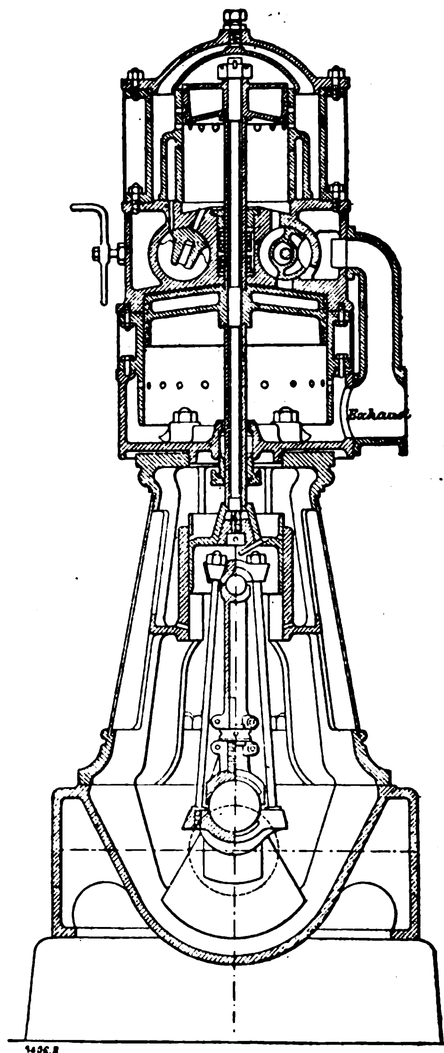


Fig. 2. — Coupe faite par un plan vertical normal au premier.

La vapeur pénètre par la soupape de gauche, entre dans le cylindre admetteur où elle se détend à partir d'une fraction de la course du piston qui peut varier entre o et $\frac{5}{8}$.

Lorsque le piston arrive à bout de course, il découvre une couronne de trous percés dans l'enveloppe du cylindre, par où la vapeur s'échappe dans un réservoir qui enveloppe le

cylindre admetteur et que l'*Engineering* appelle le récepteur.

A ce moment, la soupape de droite s'ouvre et la vapeur commence à pénétrer dans le cylindre détenteur.

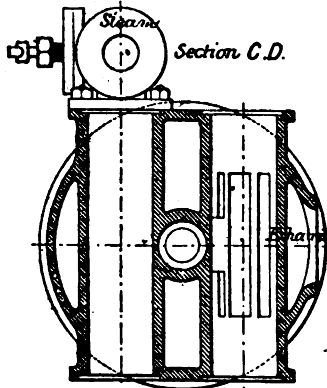


Fig. 3 et 4. — Détails de la boîte des soupapes.

Pendant la marche descendante des pistons, la vapeur passe dans le cylindre inférieur et dans le récepteur, durant la période d'admission, puis dans le récepteur seul dès que la détente commence (fig. 3 et 4).

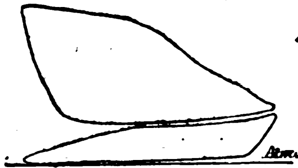


Fig. 5. — Courbe prise en marche à toute puissance.

En arrivant au bas de sa course, le piston inférieur découvre une rangée de trous qui laissent s'échapper la vapeur et l'eau qui peut se trouver sur le piston, fait à cette intention de forme légèrement conique.

Pendant la marche descendante, le piston supérieur communique des deux côtés avec le récepteur et pendant la marche ascendante le piston du détendeur est en communication avec l'atmosphère ou le condenseur, des deux côtés : en bas par l'espace annulaire dessiné sur les figures (1 et 2) et en haut par l'intermédiaire de la soupape de droite.

L'*Engineering* donne des courbes d'indicateur qui montrent une très faible perte de puissance pendant le passage de la vapeur d'un cylindre à l'autre, mais on doit lui ajouter la perte que les courbes accusent dans le récepteur pendant la marche ascendante des pistons. La somme cependant est très petite et prouve une meilleure utilisation que dans les machines ordinaires. On doit se demander

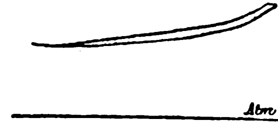


Fig. 6. — Courbe des pressions dans le récepteur.

pourtant si ces avantages ne sont pas compensés par une perte plus grande de chaleur. Les dessins, en effet, n'indiquent pas de chemise de vapeur pour le cylindre détendeur. De plus, les pistons sont, pendant la moitié du temps en communication par leurs deux faces, avec une vapeur plus froide que celle qui travaille et le récepteur offre une grande surface de refroidissement. L'*Engineering* ne donne pas d'ailleurs la consommation de charbon qu'il eut été très utile de connaître. L'auteur

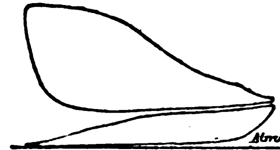


Fig. 7. — Courbe prise en marche à moyenne puissance.

de l'article dit seulement qu'il a assisté aux essais d'une machine de 140 chevaux qui pouvait à ce point de vue supporter la comparaison avec les machines déjà existantes dans les stations centrales.

A. G.

L'électro-aimant comme appareil de levage, par W. P. Daniel (1)

Nous signalions dernièrement l'emploi de l'électro-aimant comme appareil de levage dans les ateliers de Siemens et Halske.

(1) *The Electrical Engineer* (N.Y.), 15 janvier 1896 p. 64.

L'électro-aimant bipolaire étant peu convenable pour la manœuvre des longues pièces, on est conduit à employer des électros multipolaires. Mais ceux-ci ne s'appliquent pas convenablement sur les surfaces qui ne sont

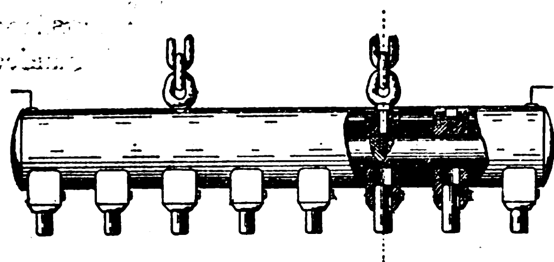


Fig. 1. — Electro-aimant multipolaire.

pas planes. Dans le but de remédier à cet inconvénient, M. W. P. Daniel a fait construire l'appareil que représente la figure 1 et dans lequel les pièces polaires ont la forme de pistons plongeurs qui se meuvent dans des projections polaires évidées cylindriquement.

G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Société Internationale des Electriciens.

Séance du 1er avril 1896.

Séance annuelle remplie en partie par la lecture des rapports des secrétaires, en sorte qu'une communication de M. A. Potier « sur les précautions à prendre contre l'électrolyse dans l'établissement des voies de tramways », a dû être remise à une date ultérieure.

Au début de la séance, M. Picou, qui occupe le fauteuil de la présidence, annonce qu'une exposition d'électricité sera organisée par les soins de la Société les 1, 2 et 3 mai prochain. Cette exposition aura surtout pour but de montrer au public en général et aux architectes en particulier, les progrès réalisés dans l'appareillage électrique et tout le parti qu'on peut en tirer pour la décoration des appartements. Elle se rapportera également aux applications domestiques du courant électrique.

M. *Branly* communique ensuite les résultats de ses recherches sur « *la résistance au contact de deux métaux* » (1).

Les métaux qui présentent ce phénomène ne sont pas ceux qui constituent les circuits électriques ordinaires ; ce ne sont pas des métaux rares, cependant, puisque se rangent parmi eux l'aluminium, le plomb, le fer, le bismuth, l'étain, etc.

Pour reconnaître et étudier ces phénomènes, M. Branly a adopté plusieurs dispositifs expérimentaux. Trois d'entre eux empruntent le pont de Wheatstone :

1° Dans un pont ordinaire, on remplace deux des bornes en laiton par des bornes en aluminium, et on serre entre elles un fil de plomb.

Ce fil, serré entre deux bornes en laiton, donne une résistance de 0,05 ohm ; serré entre des bornes d'aluminium et dans des conditions aussi identiques que possible avec les précédentes, il donne une résistance de 0,08 ohm. De plus, cette résistance va sans cesse en augmentant lorsqu'on laisse passer le courant.

La résistance ainsi mesurée diminue lorsqu'on augmente la pression, mais l'augmentation de résistance avec le temps, à circuit fermé, suit une même loi.

Cette méthode est peu commode et peu exacte en raison des différences qui peuvent provenir d'inégalités dans le serrage.

2° La méthode suivante donne des résultats plus comparables.

Aux bornes du pont, on substitue des plate-formes en laiton, formées par des disques de 8 cm de diamètre. La plateforme inférieure est en communication avec une des branches du pont ; on place sur elle, par exemple, un disque de plomb puis un disque d'aluminium

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 230 ; 4 mai 1895.

et un disque de plomb, et, enfin, la seconde plate-forme qui communique avec l'autre branche du pont et est surmontée d'un poids cylindrique de 36 kg qui assure une pression régulière et constante.

En faisant passer le courant, on obtient ainsi, avec un disque d'aluminium serré entre deux disques de plomb, les résultats suivants :

au début	0,23 ohm
après 1 heure	0,81 »

Si l'on intervertit l'ordre des disques de façon à obtenir l'ordre suivant : laiton, plomb, plomb, aluminium, laiton, la résistance observée est à peu près nulle, et elle ne varie pas avec le temps, même si la pression n'est que de 3 kg.

Avec l'ordre primitif, la résistance augmente lorsqu'on diminue la pression.

3° Comme on ne pouvait, avec cette disposition, obtenir de très fortes pressions, M. Branly a adopté le dispositif suivant : un tube de microscope, surmonté d'un plateau, peut coulisser dans un trépied ; il est muni à sa base d'une pointe mousse du métal à étudier ; on place sous le trépied une plaque d'un autre métal et on charge le plateau de poids. La pression totale se répartissant sur la surface très faible de la pointe, on peut obtenir ainsi des pressions considérables. L'appareil est ensuite intercalé dans le pont de Wheatstone.

La pointe étant en fer et la plaque inférieure en un autre métal, on a obtenu les résultats suivants :

Le plateau supérieur étant chargé de 100 gr

au début	1,05 ohm
après 5 heures	4,8 »

Le plateau étant chargé de 2 200 gr,

au début	0,36 ohm
après 15 heures	1,4 »

4° Enfin, M. Branly a adopté en dernier lieu un dispositif plus commode qui dispense du pont de Wheastone et donne des résultats très comparables.

Sur une plateforme en laiton, on superpose des disques alternés de fer et de bismuth, qu'on recouvre d'une plateforme en laiton, surmontée d'un poids de 36 kg. Les deux plaques de laiton étant en contact avec les pôles d'une pile, on mesure la différence de potentiel entre les disques de bismuth.

On a obtenu les résultats suivants :

entre le disque 0 et le disque	1	112°	de déviation
1	2	134	»
2	3	212	»
1	3	344	»

Ces chiffres concordent très bien entre eux.

M. Branly ne pense pas qu'on puisse donner encore d'explication complète de ces phénomènes ; mais on peut, en raisonnant par analogie, prévoir l'origine de leur cause. Il a démontré, en effet, il y a déjà plusieurs années, que les couches diélectriques très minces perdent en grande partie leur résistance sous l'action d'étincelles électriques, et, que leur résistance s'accroît, au contraire, sous l'action des chocs. Or, les mêmes phénomènes se reproduisent ici.

L'action des chocs est très manifeste ; on obtient le maximum d'effet, par une succession de petites secousses répétées à intervalles réguliers. Dans le cas de l'expérience 3, le plateau étant chargé de 100 gr, la résistance a pu passer, en moins de 10 minutes, à plus de 100 ohms, sous l'action de chocs répétés.

L'action de l'étincelle électrique est plus complexe et l'expérience demande à être conduite avec des soins particuliers. Cependant, quand toutes les précautions voulues ont été prises, on obtient toujours une diminution de résistance. Ainsi, dans l'expérience précédente, la résistance tombe de 4,80 ohms à 0,03 ou 0,04 ohm.

On pourrait donc inférer de ce qui précède qu'il existe à la surface des métaux en question une couche très mince, analogue à un diélectrique.

Il ne se produit d'ailleurs, dans ces expériences aucun effet de polarisation, et, en mettant les extrémités des colonnes ainsi cons-

tituées en contact avec les bornes d'un galvanomètre très sensible, on n'obtient aucun courant après l'interruption du courant principal.

La direction de celui-ci peut d'ailleurs être changée au cours d'une expérience sans que la résistance observée au moment du changement soit modifiée.

M. *Paul Janet* décrit ensuite l'*Etalonnement d'un voltmètre de 20 000 volts* qui a été dernièrement fait au Laboratoire central de la rue de Staël.

L'appareil étalonné est un voltmètre de Lord Kelvin. On sait que cet appareil est analogue à l'électromètre classique à quadrants du même inventeur. Seulement une paire de quadrants est supprimée. L'aiguille et la cage de l'instrument sont reliées ensemble et à la terre ou à un des pôles de la source d'électricité ; les quadrants, soigneusement isolés, sont reliés à l'autre pôle.

L'aiguille verticale est pivotée vers son centre ; elle porte à sa partie inférieure deux écrous mobiles sur des tiges filetées qui sont rectangulaires entre elles, et dont l'une passe par le point de suspension. En manœuvrant les deux écrous convenablement, on amène le centre de gravité du système à coïncider aussi exactement que possible avec le point de suspension de l'aiguille. Celle-ci peut donc être alors considérée comme étant sans poids. Si maintenant on ajoute en un point déterminé de cette aiguille, une surcharge quelconque, l'aiguille sera entraînée par cette surcharge de façon que cette dernière soit sur une même verticale avec le point de suspension. C'est cette position de l'aiguille qui détermine le zéro de la graduation.

Par suite de la suppression d'une des paires de quadrants, les déviations ne sont plus simplement proportionnelles au carré du potentiel. On peut s'en rendre compte facilement.

L'aiguille et les secteurs forment un condensateur dont la capacité C est fonction de l'angle de déviation α, puisque l'étendue des surfaces en regard dépend de cet angle. On a donc :

$$C = f(\alpha).$$

L'énergie du condensateur ainsi formé est

$$W = \frac{1}{2} C V^2.$$

Lorsque l'aiguille, dont la surcharge p est à une distance l du point de suspension, se déplace, le travail de la pesanteur, lorsque l'angle α augmente de $d\alpha$, est :

$$d\mathcal{T} = -p\, l \sin\alpha\, d\alpha.$$

Le travail des forces électriques est égal d'après un théorème de Lord Kelvin, à l'accroissement de l'énergie électrique, soit

$$d\mathcal{T}' = \frac{1}{2} V^2 d C = \frac{1}{2} V^2 f'(\alpha)\, d\alpha.$$

Dans la position d'équilibre on doit avoir

$$d\mathcal{T} + d\mathcal{T}' = 0,$$

d'où

$$\frac{1}{2} V^2 f'(\alpha) = p\, l \sin\alpha, \qquad (1)$$

équation qui permet de déterminer α.

Si l'on admet que la capacité du condensateur formé par l'aiguille mobile et les quadrants varie proportionnellement à l'angle α, on a

$$f(\alpha) = k\alpha$$
$$f'(\alpha) = k.$$

D'où

$$\frac{1}{2} k V^2 = p\, l \sin\alpha$$

$$k V\, d V = p\, l \cos\alpha\, d\alpha = k' \sqrt{k \frac{\sin\alpha}{\cos^2\alpha}}\, d V,$$

k' étant une nouvelle constante.

En passant des différentielles aux différences, on a

$$\delta\alpha = k \sqrt{k \frac{\sin\alpha}{\cos^2\alpha}}\, \delta V. \qquad (2)$$

Sous cette forme, l'équation permet de voir que pour un accroissement donné δV du potentiel la valeur de $\delta\alpha$, c'est à dire de la déviation dépend de la valeur de α. Très petite lorsque α est petit, elle tend à augmenter avec α ; elle augmenterait même indéfiniment si la capacité variable C ne finissait par atteindre une valeur constante (lorsque l'aiguille est

complètement recouverte par les quadrants). Les déviations correspondant à une même différence de potentiel sont donc maxima vers le milieu de la graduation et vont en diminuant vers les extrémités.

On voit, de plus, d'après l'équation (1) que pour une valeur déterminée de α, la surcharge p est proportionnelle au carré de la différence de potentiel. En donnant à p des valeurs proportionnelles à 1, 4, 16, chaque division de l'échelle représentera donc des différences de potentiel 1, 2 ou 4 fois plus fortes les unes que les autres.

Les surcharges qu'on peut ajouter sont de 28 mg, 84 mg, 336 mg, dont les combinaisons permettent d'obtenir les valeurs de p convenables.

L'étalonnement a été fait par comparaison directe avec un électromètre absolu. On aurait pu employer un transformateur dont le rapport de transformation aurait été connu. Mais cette méthode était moins sûre ; il aurait fallu déterminer la valeur du rapport de transformation par des mesures directes et, par conséquent, il était plus simple de comparer directement l'électromètre Kelvin à un électromètre étalon.

L'électromètre adopté était celui d'Abraham et Lemoine, bien connu de nos lecteurs [1]; ces deux savants ont, du reste, en grande partie effectué les expériences.

La source d'électricité était, comme dans leurs expériences précédentes, une machine de Wimshurst actionnée par un petit moteur électrique. Les deux pôles de la machine sont munis de pointes en regard ; l'un d'eux communique avec l'armature extérieure d'une bouteille de Leyde et avec la terre ; l'autre avec l'armature interne de la même bouteille, par l'intermédiaire d'une ficelle noyée dans la paraffine. La différence de potentiel se maintient remarquablement constante et on peut la faire varier en faisant varier la distance des pointes.

On peut aussi commencer par charger la bouteille au maximum, et abandonner ensuite l'appareil à lui-même. Le potentiel diminue très lentement et l'on peut ainsi faire toutes les mesures nécessaires.

L'armature interne de la bouteille est reliée au plateau inférieur de l'électromètre de MM. Abraham et Lemoine et à l'une des bornes du voltmètre Kelvin, le plateau supérieur du premier instrument et la seconde borne du dernier sont mis en communication avec le sol.

Deux observateurs font des lectures simultanées des deux appareils, et les résultats sont traduits par une courbe obtenue en prenant comme abscisses les indications de l'appareil et en ordonnées les volts vrais.

On reconnaît ainsi que l'appareil est plus exact pour les différences de potentiel élevées que pour les faibles, par suite des erreurs de réglage qui ont une influence plus marquée lorsque la surcharge est faible.

G. P.

Société de physique de Londres.

La séance du 27 mars, présidée par le professeur Carey Foster, débute par la lecture d'une note du professeur *J. A. Fleeming* sur l'« *effet Edison* ».

Si l'on place une petite plaque de métal dans la boucle du filament d'une lampe à incandescence et qu'on la relie à un galvanomètre relié d'autre part à la borne de contact positive de la lampe, on constate qu'un courant passe du conducteur positif à la plaque, et que cette action n'a pas lieu lorsque le galvanomètre est relié à la borne négative. C'est ce que l'on appelle l'effet Edison.

Dans ses expériences, le professeur Fleeming, reliait les armatures d'un condensateur, d'abord avec les deux bornes, puis avec la plaque de métal et avec la borne positive, enfin avec la plaque et avec la borne négative ; et dans chacune des trois dispositions il déchargeait le condensateur dans un galvanomètre. Les résultats obtenus avec une lampe consommant 4 watts par bougie montrent que le potentiel de la plaque descend au

---

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 433 ; 8 juin 1895.

au niveau de celui du conducteur négatif, en un certain laps de temps qui dépend de la position de la plaque par rapport au filament; si au lieu d'être dans la boucle du filament la plaque lui est extérieure, le potentiel de celle-ci met un temps considérablement plus long pour descendre au potentiel du conducteur négatif. L'intervalle compris entre la plaque et le conducteur négatif montre dans ce cas une sorte de conductibilité unilatérale, car le courant passe de la plaque au conducteur négatif et non en direction inverse. Mais si, au lieu d'employer une plaque métallique froide, on remplace celle-ci par un second filament maintenu à l'état d'incandescence par une batterie isolée on pourra alors obtenir un courant entre ce filament et l'un ou l'autre des deux conducteurs.

Si on augmente le voltage de la lampe de façon a avoir une consommation de plus de 4 watts par bougie, on remarque qu'un courant peut passer de la plaque au conducteur négatif, tandis qu'un galvanomètre relié au conducteur positif et à la plaque indique le passage du courant du conducteur positif à la plaque. Lorsque la lampe est placée dans ces conditions, l'espace compris entre la plaque et le conducteur négatif est très sensible aux effets d'un champ magnétique transversal, qui produit alors une augmentation considérable de la résistance.

La courbe montrant la relation entre l'intensité du courant passant du conducteur positif à la plaque et le voltage aux extrémités du filament est discontinue; si on élève le voltage l'intensité du courant augmente subitement d'environ 10 fois sa valeur primitive, et c'est lorsque la lampe se trouve dans la condition correspondant à la partie la plus élevée de la courbe qu'elle est le plus sensible à l'influence d'un champ magnétique transversal.

En employant une plaque mobile M. Fleeming a trouvé que le courant minimum s'obtient lorsque cette plaque est plus proche du conducteur positif que du négatif.

Si la lampe est alimentée avec un courant alternatif, on peut néanmoins obtenir un courant continu allant de la plaque à l'une ou l'autre des deux bornes.

Sur la résistance des conducteurs aux courants alternatifs, par E. Brylinski (¹).

A propos de la communication de M. Mascart, faite à la séance du 4 décembre dernier, de la Société Internationale des Electriciens (²), M. Brylinski adresse la lettre suivante au président de cette société.

» J'ai l'honneur de vous prier, comme suite à la communication faite par M. Mascart, à la séance du 4 décembre dernier, sur la résistance des condensateurs aux courants alternatifs, de me permettre de vous signaler que j'ai publié, sur ce sujet, une note dans l'*Electricien* (nᵒˢ 355 du 1ᵉʳ février et 359 du 1ᵉʳ mars 1890).

» Dans ce travail, entrepris sur les conseils de notre collègue, M. Vaschy, et qui avait trouvé bon accueil auprès de notre vice-président, M. Hospitalier, j'avais énoncé les points principaux signalés par M. Mascart.

» J'avais notamment représenté la table de Lord Kelvin par une formule linéaire, dont les paramètres sont extrêmement voisins de ceux qu'a déterminés M. Mascart.

» La formule que j'avais adoptée pour le conducteur en cuivre, de diamètre x, parcouru par des courants alternatifs de 80 périodes, étudié par Lord Kelvin, était

$$\frac{R}{R_0} = 0{,}3541\, x + 0{,}2614. \qquad (1)$$

» Cette formule était valable pour toutes les valeurs de x égales ou supérieures à 3, et concordait avec la table à 6 pour 1000 près.

» La formule de M. Marcart était

$$\frac{R}{R_0} = \frac{\sqrt{2}}{4}\left(p + \frac{3}{4}\right),$$

avec

$$p = a\sqrt{m} \qquad \text{et} \qquad m = \frac{8\pi^2 \mu c}{T}.$$

(¹) *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, t. XIII, p. 75; février 1896.

(²) Voir l'*Éclairage Electrique*, t. V, p. 469; 7 décembre 1895; et t. VI, p. 129; 18 janvier 1896.

» Si l'on fait, comme plus haut, $\frac{1}{T} = 80$, $\mu = 1$ et $c = \frac{1}{1\,600}$, on trouve :

$$m = \frac{4\,\pi^2\,160}{1600} = \frac{4\,\pi^2}{10},$$

et, par suite,

$$p = 2\,a\,\frac{\pi}{\sqrt{10}} = x\,\frac{\pi}{\sqrt{10}} = 0.99346\,x.$$

» La formule de M. Macart devient dès lors

$$\frac{R}{R_0} = 0,35124\,x + 0,26516, \qquad (2)$$

et le tableau I indique les erreurs relatives par rapport à la table de Lord Kelvin.

TABLEAU I

Valeur de x	Valeur de $\frac{R}{R_0}$			Différences des deux dernières colonnes	Erreur relative pour 1 000
	formule (1)	Table de Lord Kelvin	formule (2)		
20	7,3434	7,3250	7,2900	+ 0,0350	5
15	5.5732	5,5732	5,5338	+ 0,0394	7
10	3,8024	3,7940	3,7776	+ 0,0164	5
8	3,0942	3,0956	3,0751	+ 0,0205	7
6	2,3860	2,3937	2,3726	+ 0,0211	9
5,5	2,2090	2,1190	2,1970	+ 0,0220	10
5	2,0329	2,0430	2,0214	+ 0,0216	10
4,5	1,8550	1,8628	1,8458	+ 0,0170	9
4	1,6780	1,6778	1,6702	+ 0,0076	5
3,5	1,5010	1,4920	1,4945	— 0,0025	2
3	1,3240	1,3186	1,3189	— 0,0003	0,3

» Il semble résulter de ce tableau que la formule (1) donne des résultats plus approchés que la formule (2), qui est cependant suffisante pour les besoins de la pratique. Mais ce n'est pas là le point sur lequel je désirerais soulever une discussion ; il s'agit du fer, au sujet duquel les conclusions de M. Mascart sont diamétralement opposées à celles que j'avais formulées en 1890.

» J'avais énoncé, à ce moment, que l'augmentation de résistance, produite dans le fer par les courants alternatifs à haute fréquence, me paraissait être la seule raison de l'impossibilité d'employer le fer aux lignes téléphoniques à grande distance. M. Mascart, au contraire, conclut que les fils de fer doivent se montrer plus conducteurs, toutes choses égales, pour les courants alternatifs.

» Malgré l'autorité de M. Mascart, je ne puis revenir sur l'opinion que j'avais émise, et je désire reprendre le raisonnement de notre éminent collègue. Laissons de côté les fers à haute perméabilité, employés dans la construction des dynamos et des transformateurs et, pour nous mettre dans les plus mauvaises conditions, considérons du fil de fer télégraphique, dont la perméabilité est voisine de 100, d'après les mesures de M. Massin.

» Dans la valeur du coefficient m la conductivité est bien multipliée par la perméabilité magnétique ; mais si la conductivité du fer est 7 fois plus petite que celle du cuivre, sa perméabilité est 100 fois plus forte, de telle sorte que le m du fer est, toutes choses égales d'ailleurs, $\frac{100}{7} = 14$ fois sensiblement plus fort que celui du cuivre ; le p du fer est, dans ces conditions, $\sqrt{14} =$ sensiblement 3,7 fois plus fort que celui du cuivre, ce qui entraîne, pour le fer, une augmentation de résistance plus considérable que pour le cuivre.

» Prenons un fil de cuivre pour lequel $p = 4$; on aura très sensiblement $\frac{R}{R_0} = 1,67$. Si nous considérons maintenant un fil de fer de perméabilité 100, de même diamètre et parcouru par le même courant, nous aurons, pour ce fer, $p = 4 \times 3,7 = 14,8$ et, très approximativement, $\frac{R}{R_0} = 5,5$, soit plus de 3 fois l'augmentation produite pour le cuivre.

» Il est intéressant de donner la valeur de la résistance effective de divers fils de fer pour diverses périodes correspondant à certains sons de la voix humaine :

Diamètre des fils en mm.	Résistance en ohms par kilomètre, pour un nombre de périodes				
	0	49	484	2 500	14 400
3	18	18	22	43	95
4	10	10	15	31	70
6	4,4	4,4	9	20	46
10	1,6	2,1	5,3	12	28

» Les nombres de ce tableau, quoique n'é-

tant pas calculés avec une exactitude rigoureuse, donnent une idée nette et suffisamment exacte de la manière dont se comportent les fils de fer télégraphiques. »

Nouvelle forme de réaction négative sur la rétine, par Aug. Charpentier (¹).

« J'ai appelé précédemment l'attention sur la réaction négative de la rétine, qui se produit au début des excitations lumineuses; la forme la plus frappante sous laquelle se manifeste ce phénomène est celle de l'expérience de la *bande noire*, dans laquelle un secteur blanc, bien éclairé sur fond noir, tournant avec une vitesse modérée et regardé par un œil immobile, paraît bordé dans le sens de son mouvement par une zone obscure en secteur, dont j'ai déterminé la durée et le moment d'apparition. Dans certains cas exceptionnels, disais-je, j'ai vu la première bande noire, très nette, être suivie de plusieurs autres beaucoup plus faibles.

» Des expériences récentes, faites avec un nouveau dispositif, indiqué dans ma dernière Note (13 janvier 1896) (²), m'ont montré que ces répétitions de la bande noire n'étaient pas l'exception, mais la règle. La réaction de la rétine affecte donc la forme oscillatoire; seulement, l'amortissement est plus ou moins rapide, et la première oscillation est toujours la plus évidente.

» De plus, jusqu'à présent, je n'avais observé cette réaction négative qu'avec des lumières d'une durée supérieure à celle de la production totale de la bande noire, c'est à dire supérieure à $\frac{1}{30}$ de seconde; ces lumières pouvaient d'ailleurs, à partir de cette limite très basse, être continues ou instantanées, le phénomène ne dépendant que du début de l'excitation lumineuse, plus ou moins longue en elle-même. Dans tous ces cas, la réaction se manifestait donc par l'affaiblissement momentané plus ou moins grand de l'excitation produite par une lumière extérieure *réelle*. Or, j'ai découvert un fait nouveau, c'est que cette réaction n'a pas besoin, pour se produire, d'une excitation objective, car elle se rencontre avec le même rythme, lors même que l'excitation extérieure a cessé avant elle. En d'autres termes, des lumières plus courtes que la durée de $\frac{1}{60}$ de seconde, qui correspond au début de la bande noire, déterminent un phénomène rythmique analogue.

» Une petite fenêtre très étroite, pratiquée dans un disque rotatif et ayant la forme d'une portion de secteur d'une étendue angulaire de 1 degré, tournant avec une vitesse voisine d'un tour par seconde au devant du champ lumineux uniforme défini dans ma dernière Note, montre nettement une réapparition double ou même triple de l'image, avec des intervalles sombres d'une étendue correspondant aux prévisions. Nous avons donc bien affaire à notre réaction négative oscillatoire initiale, c'est à dire liée à l'*apparition* de la lumière; mais elle se manifeste dans l'image persistante, purement subjective, postérieure à l'excitation, au lieu de faire tache comme précédemment sur une lumière objective ou réelle.

» Sa nature ressort encore plus nettement de l'expérience suivante : on donne à la fenêtre du disque non plus la forme d'une bande étroite, mais celle d'un secteur angulaire renversé, c'est à dire d'un triangle très aigu ayant la pointe tournée vers le bord du disque et la base vers le centre. Dans des conditions convenables de vitesse du mouvement, la pointe seule du triangle lumineux semble dédoublée, et le raccord s'effectue avec la portion plus large précisément vers les limites que présente sur cette portion la bande noire d'entrée.

» Je signale à ce propos un fait curieux, sans en chercher pour le moment l'explication : ce dédoublement appparent d'un objet lumineux étroit peut se montrer avec toute

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 207, séance du 27 janvier.

(²) *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 233; 1er février 1896.

espèce de couleur, mais il présente avec le rouge un caractère particulier, c'est que l'image redoublée paraît *tout à fait blanche*, quand on regarde surtout à un éclairage faible et dans la vision indirecte. Je n'ai pas retrouvé le phénomène avec d'autres couleurs, ce qui ne veut pas dire que l'exception soit absolue, étant donné la difficulté de ces recherches.

» Puisqu'il se produit une réaction négative au début et à la fin d'une excitation lumineuse, on devait s'attendre à trouver quelque chose d'analogue au moment des *changements soudains de l'intensité*. C'est en effet ce que j'ai vu se produire en faisant croître ou en faisant décroître brusquement une excitation donnée. Cette condition est facile à réaliser :

» Sur une fenêtre en secteur assez large, une moitié est recouverte d'un ou plusieurs doubles de papier calque, ce qui réduit plus ou moins notablement l'éclairage de la région correspondante. Suivant le sens de la rotation du disque, la partie la plus éclairée de l'objet arrive, sur un point donné de la rétine, avant ou après la partie la plus sombre. On peut d'ailleurs donner à chacune de ces deux parties de l'objet des étendues angulaires variables, ce qui permet de réaliser des conditions multiples.

» Or, indépendamment de la bande noire d'entrée de la lumière, on voit toujours se montrer au moins une bande noire très nette à la séparation des deux zones ; cette bande est bien limitée et ne peut être rapportée à un phénomène de fatigue.

» C'est l'indice d'une réaction négative analogue aux précédentes. Quant au moment précis de son apparition, je n'ai pu encore le déterminer avec certitude. Mais les notions acquises suffisent à établir cette loi : *tout changement brusque et suffisamment grand de l'excitation lumineuse d'un point de la rétine détermine une réaction négative dont la forme oscillatoire peut être plus ou moins sensible.* »

Appareil à self-induction variable, par Max Wien (1)

Cet appareil se compose essentiellement de deux bobines dont l'une est fixe et l'autre mobile autour de leur diamètre vertical commun. Le courant traverse successivement ces deux bobines ; dans les positions extrêmes de la bobine mobile, les directions du courant dans les deux sont parallèles de même sens ou de sens contraire ; dans les positions intermédiaires elles peuvent faire un angle quelconque.

La bobine fixe porte quatre enroulements comprenant respectivement 2, 4, 8, 16 couches de fil, chacune de 18 spires (diamètre du fil = 0,8 mm). La bobine mobile a deux enroulements de 2 et de 4 couches : des commutateurs à cheville permettent d'introduire une combinaison quelconque de ces enroulements (en série) dans le circuit. La bobine mobile est munie d'un index qui se déplace sur un cercle divisé.

L'instrument est étalonné en le comparant par la méthode de Maxwell avec des bobines dont la self-induction peut être calculée à *priori*. La self-induction du système peut varier de 4.10^{4} à $1,2.10^{8}$ cm. D'autre part, dans la disposition de Maxwell, si L_1 et L_2 sont les self-inductions à comparer, R_3 et R_4 les résistances des branches conjuguées, le téléphone placé sur le pont reste silencieux quand

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{R_3}{R_4};$$

en prenant $R_3 > R_4$ on aura donc le moyen de mesurer des coefficients L_1 plus grands que le coefficient L_2 de l'appareil de comparaison, on peut ainsi mesurer des self-inductions de 5.10^{3} à 10^{10} cm.

L'appareil permettra aussi de comparer une capacité à une self-induction.

Souvent on n'observe pas de minimum net dans le téléphone. Les causes de l'insuccès peuvent être une ou plusieurs des circonstances suivantes. Les courants alternatifs,

(1) *Wied. Ann.* t. LVII. p. 249.

circulant dans des conducteurs assez gros, se portent vers la surface : les résistances formées de bobines à double enroulement présentent une capacité notable, les résistances liquides se polarisent, les noyaux de fer produisent des perturbations par l'hystérésis les variations de perméabilité, les courants de Foucault, etc.

Il faut alors ou employer un courant sinusoïdal ou remplacer le téléphone par un téléphone optique ou un galvanomètre à vibrations. M. L.

Sur les indices de réfraction et le pouvoir réfléchissant de l'eau et de l'acool pour les ondes électriques, par A. D. Cole (¹).

La disposition adoptée par M. Cole ne diffère que par quelques détails de celle qu'a utilisée M. Cohn dans des expériences antérieures (V. *Lum.*, *Élec.* t. XLIII, p. 627, 1892).

En particulier plusieurs ponts étaient disposés simultanément sur les fils, au moins 3 dans l'intérieur du liquide et 3 à l'extérieur ; par suite on déterminait en même temps deux valeurs de la longueur d'onde tant dans l'air que dans l'eau. Ces deux valeurs ne sont pas tout à fait égales entre elles, ce qui provient des perturbations causées par les parois de la cuve à liquide ; en les comparant, on peut éliminer dans les mesures finales l'influence de cette perturbation.

La détermination des longueurs d'onde peut se faire de deux manières. D'abord on peut mettre un pont sur les fils près de l'endroit où ils pénètrent dans la cuve, puis placer à demeure d'autres ponts aux points où ils produisent la résonance : on prend alors comme demi-longueur d'onde la longueur du fil mesurée à partir du milieu du pont jusqu'au milieu du pont immédiatement voisin, autrement dit, la distance entre les deux ponts augmentée de la longueur de l'un d'eux.

On peut encore, après avoir placé le premier pont à l'entrée de la cuve, faire glisser un autre pont mobile tout le long des fils et marquer les points où réapparaît la résonance : la demi-longueur d'onde est égale à la distance de deux points consécutifs.

Les indices trouvés ainsi sont à la température de 18°.

Pour l'eau :

λ_{air}	n
261,3	8,5
299,7	8,9
155,7	8,96

Pour l'alcool :

$\lambda_{air} = 259.$ $n = 5,24.$

M. Cole a effectué aussi des mesures sur des ondes de longueur beaucoup moindre obtenues à l'aide d'un excitateur de Righi. Les essais qu'il a faits pour déterminer les indices de ces ondes par le prisme n'ont pas donné de résultats satisfaisants. Il a du recourir à une méthode indirecte basée sur l'application des formules de Fresnel qui lient l'intensité du rayon réfléchi à l'indice de réfraction.

L'excitateur était formé de deux petits morceaux de laiton ayant 2 mm de diamètre et 8 mm de longueur mastiqués dans des tubes de verre et baignés dans l'huile de paraffine ; il était placé sur la ligne focale d'un réflecteur cylindrique ayant 50 cm d'ouverture. A 25 cm de l'excitateur est planté dans la table d'expériences un clou qui sert de pivot à un bras en bois long de 30 cm et à l'extrémité duquel se trouve le résonateur, celui-ci est un résonateur thermoélectrique de Klémencic placé sur la ligne focale d'un récepteur parabolique. Une feuille de zinc carrée de 40 cm de côté est disposée verticalement de manière que son plan passe par l'axe de rotation du bras en bois et fasse un angle de 45° avec les rayons incidents. En mesurant l'intensité de la radiation reçue par le résonateur, d'abord directement quand la feuille de zinc est enlevée, puis après réflexion, on peut déterminer le pouvoir réfléchissant de cette feuille.

Quand la force électrique est perpendiculaire au plan d'incidence, le pouvoir réflecteur

(¹) *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 290, 1896.

est sensiblement égal à l'unité : mais si la force électrique est parallèle au plan d'incidence, le pouvoir réfléchissant n'est plus que 0,92 environ.

Pour étudier la réfléxion sur les surfaces liquides, la disposition de l'expérience est un peu modifiée. Le liquide est versé dans une cuvette plate en carton, qu'il remplit jusqu'au bord. L'axe de l'excitateur et celui du résonateur font chacun un angle de 45° avec l'horizontale, de part et d'autre ; les radiations émanées de l'excitateur viennent donc après s'être réfléchies sur la surface du liquide se concentrer sur la ligne focale du réflecteur où se trouve le résonateur. Un écran métallique empêche tout rayonnement direct de l'excitateur vers le résonateur. Comme l'eau et l'alcool ont un coefficient d'absorption considérable, les ondes réfléchies sur le fond de la cuvette ne possèdent qu'une quantité d'énergie insignifiante et pratiquement sont négligeables.

Le pouvoir réfléchissant de l'eau a été trouvé sous l'incidence de 45° égal à 0,718 ou 0,527 suivant que dans les ondes incidentes la vibration électrique est perpendiculaire ou parallèle au plan d'incidence. Ces valeurs correspondent d'après les formules de Fresnel à un indice égal à 8,85 pour longueur d'onde employée (5 cm).

L'alcool présente dans les mêmes conditions un pouvoir réfléchissant égal à 0,405 ou 0,154 soit un indice égal à 3,2.

Cet indice est notablement plus petit que l'indice trouvé avec les grandes longueurs d'onde : Il est donc très vraisemblable que l'alcool présente dans cette région du spectre des ondes électriques une dispersion considérable. D'après le sens de cette dispersion, il devrait exister dans l'alcool une ou plusieurs bandes d'absorption pour les ondes dont la longueur dépasse 5 cm dans l'air : et la dispersion de l'alcool serait d'après cela anormale.

Appliquée au pétrole, dont l'indice est connu par d'autres expériences et pouvait servir de contrôle, la méthode précédente a donné $n = 1,5$: ce qui concorde assez bien avec les mesures antérieures.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Le potentiel thermodynamique et ses applications à la mécanique chimique et à l'étude des phénomènes électriques, par P. Duhem, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux. Un volume in-8. — *Hermann*, éditeur. Deuxième tirage, 1895.

Dans cet ouvrage, qui a été le point de départ d'une série déjà longue de travaux sur la thermodynamique, M. Duhem montre d'abord comment les recherches de W. Gibbs et de Helmholtz ont permis de définir des fonctions qui, pour toute modification *isotherme* d'un système dont la température est homogène, s'effectuant à partir d'un état stable, ne peuvent que rester constantes ou décroître, suivant que la transformation est réversible ou non. Il donne à ces fonctions, qui ne diffèrent entre elles que par un terme résultant de la nature particulière de la transformation considérée, le nom de potentiels thermodynamiques. Il ne sera pas inutile de rappeler, pour faire saisir plus facilement le sens de ces termes, que M. Duhem emploie le mot potentiel dans son sens primitif, où l'usage courant l'a remplacé, surtout en électricité, par l'expression d'énergie potentielle ; le potentiel thermodynamique a les dimensions d'un travail ou d'une énergie ; le théorème qui exprime que le potentiel thermodynamique est maximum dans tout état d'équilibre stable correspond à la proposition bien connue sur la stabilité de l'équilibre d'un système mécanique.

La théorie du potentiel thermodynamique est donc une façon spéciale d'exposer et de déduire les conséquences des deux principes ; l'intérêt qu'il y a à considérer cette fonction résultait déjà des travaux de M. Massieu, qui avait montré comment la connaissance de certaines *fonctions caractéristiques* permet de calculer tous les coefficients qui déterminent les propriétés physiques et mécaniques d'un

corps. Une application très intéressante de cette propriété est l'énoncé qui condense les propriétés des corps isomorphes : M. Duhem montre que ce sont les corps qui ont le même potentiel dynamique moléculaire. Une quantité dont les propriétés analytiques et physiques sont si simples et si compréhensives doit jouer un rôle essentiel en thermodynamique et on comprendra facilement pourquoi M. Duhem a basé tous ses travaux dans cette branche de la science sur la considération de cette fonction. D'ailleurs, la méthode entre ses mains n'est pas demeurée stérile ; il me suffira de rappeler entre autres, la découverte de la loi suivant laquelle la force électromotrice d'une pile varie avec la pression, loi vérifiée depuis par l'expérience, pour montrer que M. Duhem ne s'est pas borné à exposer en notations nouvelles des résultats déjà connus.

La lecture du présent livre permettra à l'étudiant de s'initier à la méthode de l'auteur, qui se laisse conduire quelquefois à des développements mathématiques assez compliqués, et d'aborder avec fruit la lecture des mémoires postérieurs. L'éloge des travaux de M. Duhem a été fait déjà par des savants autorisés ; il est inutile de le répéter ici, non plus que d'insister sur les critiques qu'on a pu lui adresser. Je n'en retiendrai qu'une, fondamentale d'ailleurs, sans être personnelle, celle qui a trait à la base même des théories thermodynamiques. On a écrit plusieurs fois et on a pensé plus souvent encore que l'inégalité de Clausius relative aux phénomènes irréversibles, $\int \frac{dQ}{T} > 0$, que M. Duhem admet sans discussion, est inexacte ou tout au moins qu'elle n'est nullement démontrée. Je crois que ce scepticisme résulte surtout, en France, de la forme qu'a donnée Verdet à cette démonstration. Clausius établit d'abord dans un cas simple qu'on peut avoir $\int \frac{dQ}{T} > 0$, il montre ensuite, par des raisonnements, à la vérité un peu longs et trop particuliers, que l'inégalité contraire est impossible et il en conclut sa relation. Verdet, au contraire, reprend le raisonnement de Clausius dans le cas particulier que celui-ci avait étudié (la partie irréversible du cycle est la variation de volume d'un gaz qui n'est pas en équilibre de pression avec l'extérieur), il étudie ensuite le frottement et le rayonnement et il montre que, dans les trois cas, l'inégalité de Clausius est vérifiée. Indépendamment des critiques qu'on peut adresser en détail à chaque démonstration, la méthode suivie est absolument vicieuse ; du moment qu'on a énoncé un principe général, c'est de ce principe qu'il faut déduire les relations analytiques ; l'étude de quelques cas particuliers peut nous fournir un moyen de nous faire d'avance une idée de ces relations ou simplement de les vérifier ; elle ne peut pas être considérée comme suffisante pour établir une formule de cette importance. Et qu'il est étrange aussi de voir que, d'un principe qui a trait essentiellement aux phénomènes irréversibles, on ne déduise directement que des conséquences relatives aux phénomènes réversibles, lesquelles pourraient s'établir en partant du principe exactement opposé. Les raisonnements de Clausius, je le répète, ne prêtaient pas à cette critique ; Kirchhoff n'a eu en somme qu'à leur donner de la simplicité et de la rigueur — mais il l'a fait de la manière la plus heureuse — pour fournir une démonstration qui semble inattaquable (¹). Je me permettrai d'exposer ici une autre démonstration basée essentiellement sur la même idée directrice que celle de Kirchhoff, mais qui, grâce au choix différent de l'énoncé du principe fondamental, se trouve être un peu plus simple.

Le principe de Carnot s'énonce : Il est impossible de faire fonctionner une machine avec une seule source, c'est à dire que si un système décrit un cycle fermé dans lequel il ne soit en échange de chaleur avec l'extérieur qu'à une seule température, il est impossible que le travail extérieur fourni dans ce cycle soit positif. Le système absorbera du travail

(¹) Kirchhoff. Theorie der Warme, V^e leçon, § 6.

et dégagera de la chaleur et nous arrivons à l'énoncé suivant : Dans tout cycle fermé le long duquel il n'y a échange de chaleur avec l'extérieur qu'à une température, la quantité de chaleur totale *dégagée* est positive (ou nulle si le cycle est réversible).

Soit un système quelconque A (de température uniforme), décrivant un cycle fermé C, le long de chaque élément duquel il dégage, à chaque température absolue T, une quantité de chaleur dQ_1. Considérons un système auxiliaire B, constitué par un gaz parfait par exemple, et qui décrive d'une façon réversible un cycle tel qu'à chaque température la quantité de chaleur dégagée dQ_2 soit égale et de signe contraire à dQ_1 ; soit T_0 la température de laquelle part le système A et à laquelle il revient. Le système B est parti d'un état arbitraire que je désigne par P, à la température T_0, et il est revenu, à la même température, à un état Q, quand le cycle C s'est fermé. Ramenons B de Q en P à température constante, le système A B aura décrit un cycle fermé ; d'après la condition imposée à dQ_2, il n'aura pu y avoir de chaleur cédée à l'extérieur que suivant le segment isotherme Q P de ce cycle ; cette quantité de chaleur est positive ou nulle. B a décrit un cycle fermé réversible ; on a donc

$$\int_P^Q \frac{dQ_2}{T} + \int_Q^P \frac{dQ_2}{T_0} = 0$$

ou

$$\int_P^Q \frac{dQ_2}{T} + \frac{1}{T_0}\int_Q^P dQ_2 = 0,$$

la seconde intégrale est prise à la température T_0 ; elle est positive ou nulle ; la première est prise le long du contour que décrit B en accompagnant A, elle est égale et de signe contraire à $\int_C \frac{dQ_1}{T}$ et l'on a

$$\int_C \frac{dQ_1}{T} = \frac{1}{T_0}\int_Q^P dQ_2 \geqq 0.$$

Cette démonstration s'applique à un système défini par un nombre quelconque de paramètres. On la généraliserait facilement, en suivant la méthode employée par M. Poincaré, pour un système de température non uniforme.

C. Raveau.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Bruxelles. — *Éclairage.* — Le service d'électricité de la ville a recruté de nombreux clients pendant l'année 1895. Au 31 décembre 1895, 20 003 lampes (de 16 bougies) se trouvaient raccordées. Une moyenne de 8 060 fonctionne simultanément.

Les usines d'électricité réclament donc de nouvelles installations, et il y a lieu d'établir de suite les canalisations de l'avenue Louise, afin d'éviter que ses trottoirs ne soient éventrés pendant la période de l'exposition de 1897.

Un crédit de 650 000 francs sera réclamé dans ce but à la prochaine réunion du conseil communal. Il portera à un total de 4 546 000 francs, le capital engagé dans le service d'électricité. Celui-ci produira, espère-t-on, 4,20 p. 100 de bénéfice net par an.

Bruxelles. — *Traction sur les canaux.* — La traction des bateaux sur les canaux et rivières, qui se fait maintenant par chevaux, sera prochainement faite par l'électricité.

Le département de l'agriculture élabore, en effet, un projet de traction par l'électricité, système qui serait appliqué sur tous les canaux belges.

Bleiberg (Carinthie). — *Utilisation des chutes d'eau.* — On vient de commencer les travaux pour l'installation d'une importante station hydraulique destinée à un transport d'énergie électrique pour les mines Bleiberg Mining C° ; les eaux de la Nutchbach seront captées par une turbine de 285 chevaux, laquelle actionnera un alternateur à courants triphasés fournissant 200 kilowatts avec une tension de 3 000 volts ; cette tension sera réduite à 200 volts et transmise aux 4 puits de la Compagnie. Au puits Rudolf sera installé un moteur électrique dont l'axe de rotation sera relié à celui de la dynamo à courant continu qui sert actuellement à l'éclairage de ce puits : d'autres moteurs de puissances variables seront également placés aux trois autres puits pour actionner les ascenceurs, pompes et ventilateurs.

Copenhague. — Traction et Éclairage. — On nous annonce qu'une concession vient d'être accordée à un syndicat français pour l'établissement de différentes lignes de tramways électriques dans le voisinage de cette ville ; les travaux de la première ligne entre Amock et Drâgor via Sundby commenceront aux premiers jours d'avril. On parle également de construire une autre ligne qui suivrait les boulevards et serait reliée à la ligne d'Amock.

Les autorités locales du faubourg Westerbro viennent de décider l'établissement d'une station centrale d'électricité destinée à l'éclairage.

Cette usine pourra alimenter 15 000 lampes à incandescence.

Cagliari. — Traction. — Nous apprenons que le Conseil municipal de cette ville a approuvé la demande en concession d'une ligne de tramways à traction électrique destinée à desservir les divers quartiers de la ville. On espère également voir se réaliser le projet d'éclairage électrique depuis longtemps attendu.

Carthage et Carteville. (Missouri). — Traction. — On vient d'établir un tramway électrique entre Carthage et Carteville (Missouri) ; la longueur de la voie est de 24 km. Ce tramway traverse une région exclusivement agricole ; il en résulte qu'il devient facile de fournir l'énergie électrique nécessaire à l'exploitation. C'est pourquoi la Compagnie se propose de fournir le courant aux batteuses mécaniques et autres machines, et en outre d'éclairer les maisons d'habitation, les fermes et les granges qui se trouvent sur ce parcours.

Dublin. — Traction. — Dans quelques mois, le district de Dublin possédera un réseau considérable de tramways électriques, actuellement en cours d'exécution, par conducteurs aériens et trôlets. Ces tramways réuniront Dublin à sa banlieue. C'est un des plus grands projets de traction électrique que l'on ait conçu dans la Grande-Bretagne. La longueur des voies construites jusqu'ici avaient 4, 5 ou même 7 milles de longueur, tandis que celle-ci n'aura pas moins de 16 milles de longueur totale. Elle est entreprise par la *Dublin Southern Electric Tramways Company,* qui estime à 300 000 livres sterling les dépenses nécessaires, à la condition que ce projet reçoive la sanction du Parlement pour l'achèvement de certaines parties. Parmi les agglomérations suburbaines qui seraient alors en communication directe avec la ville, on peut citer Rathgat, Rothmines, Dolphin's Barn, Milltown, Cingstown, Donnybrook, Sorrento Park et Merrion Pier. La Compagnie précitée paye à la municipalité une certaine somme pour le libre usage des rues, et celle-ci se réserve à son tour le droit d'acquisition et de rachat. L'électricité sera aussi employée pour éclairer les voitures. Une nouvelle particularité de ce système consiste dans les facilités toutes spéciales qui seront accordées pour le transport des colis de toute nature et des petits paquets. L'ingénieur en chef des travaux est M. Clifton Robinson, qui avait été chargé également de la construction du réseau nouvellement inauguré à Bristol ; il a acquis une expérience considérable dans les lignes électriques américaines.

Le matériel électrique est fourni par la Compagnie anglaise Thomson-Houston. Les voitures donneront une vitesse d'environ 8 milles à l'heure, et seront munies de nouveaux dispositifs d'arrêt.

Darjeling. (Bengale). — Eclairage. — Nous apprenons que la municipalité de Darling vient de décider l'installation de l'éclairage électrique dans divers grands établissements de la ville.

Ces travaux seront exécutés sous le contrôle de la municipalité au prix de un million 108 080 fr, les frais d'entretien annuels s'élèveront à 104976 fr. Un emprunt sur le gouvernement leur procurera les fonds nécessaires pour l'exécution des travaux projetés.

Formose. (Japon). — Eclairage de phares. — D'après les informations publiées par la presse japonaise, le gouvernement japonais a décidé la construction, sur les côtes de l'île de Formose, de huit phares dont quelques uns seront éclairés par l'électricité.

Genève. — Eclairage. — La municipalité de Genève, dans le but de favoriser l'extension de l'éclairage électrique, vient d'adopter un projet d'arrêté d'après lequel la Ville accorderait une subvention de 60 pour 100 du cout des installations à tout nouvel abonné s'engageant à un minimum de consommation annuelle. Cette subvention, qui s'applique exclusivement au matériel de distribution tel que fils, moulures, tubes, isolateurs, coupe-circuits, interrupteurs nécessaires au bon fonctionnement de l'installation, ne pourra dépasser la somme de 15 fr. par lampe, ni le

minimum de consommation annuelle souscrit par abonné.

Les abonnés actuels auraient également droit à une subvention pour les suppléments d'installation supérieurs à cinq lampes.

Pour les installations à faire dans les immeubles non encore pourvus d'un raccordement avec le réseau d'éclairage électrique, il serait demandé un minimum et une durée d'abonnement en rapport avec l'importance des travaux.

Haflsrund (Norwège).— Fabrique d'aluminium. Un syndicat germano-allemand s'est rendu acquéreur de vastes terrains situés près de Haflsrund (Norwège) et d'une chute d'eau à Sarps, pour la somme de 800 000 francs, en vue d'ériger une usine pour la production électrolytique de l'aluminium.

Kratzau. — Éclairage. — Le conseil Municipal de la ville de Kratzau (Bohême) vient de décider définitivement l'adoption de l'éclairage électrique.

Une concession vient d'être accordée à MM. Siemens et Halske pour l'installation d'une station centrale destinée à l'éclairage électrique de la petite ville de Friedland (Bohême).

Mexico. — Utilisation des chutes d'eau. — On nous annonce qu'une concession vient d'être accordée aux représentants de MM. Siemens et Halske pour l'installation d'une usine hydraulique destinée à utiliser les chutes de Tenancigo pour transformer leur puissance en énergie électrique et la transporter à Mexico et dans plusieurs autres villes environnantes pour y être utilisée sous diverses formes.

Minas (Brésil). — Éclairage et traction électriques.— Les chambres de l'Etat brésilien de Minas Geraes ont récemment décidé, d'après un rapport de M. Wiener, consul général de France, de construire une nouvelle capitale mieux appropriée aux besoins de la vie contemporaine et qui portera le nom de Minas.

Plusieurs maisons étrangères ont obtenu déjà des concessions de travaux. D'ici peu on mettra en adjudication l'éclairage et les tramways électriques de la nouvelle ville. D'après M. Wiener, le personnel supérieur de l'administration brésilienne serait très disposé à accueillir favorablement les offres émanant d'industriels français. Ceux-ci pourront se procurer des renseignements complémentaires à la Direction du Commerce (3e Bureau), 80, rue de Varennes.

Pozoblanca (Espagne). — Eclairage. — La station centrale construite dans le but d'éclairer cette ville à l'électricité vient d'être mise en exploitation après essais satisfaisants.

Dans d'autres villes notamment celles d'Esparraguas et Arbuchias la question d'éclairage électrique est activement étudiée.

Saint-Pétersbourg.—Transport d'énergie et éclairage. — Nous apprenons que la nouvelle Compagnie Nicolaieff Shipbuilding and Iron Foundry a décidé que l'énergie électrique seule serait employée pour le fonctionnement des machines-outils et autres appareils ; les ateliers et chantiers seront tous éclairés à la lumière électrique. L'usine qui fournira le courant sera installée par la Société Cockerill de Seraing (Belgique).

Prétoria. — Éclairage. — On dit que le contrat du gouvernement du Transwaal pour l'installation de la lumière électrique dans la ville de Prétoria interdit aux contractants de se servir de matériel et d'outillage fabriqués en Angleterre. Seul le matériel canstruit sur le continent européen doit être employé. Voilà une bonne chance pour les constructeurs français.

Rome. — Traction.— La junte municipale s'occupe actuellement du projet présenté par la Société romaine des tramways-omnibus, tendant à établir la traction électrique sur les deux lignes Place Venezia-Termini et Place Venezia-Saint-Pierre.

Vienne. — Éclairage. — La Compagnie générale autrichienne d'électricité distribue le courant, à Vienne, à 56 818 lampes, dont 2 098 à arc. Le nombre des abonnés, qui a augmenté de 269 dans cette dernière année, est actuellement de 1 058. En outre, la Compagnie fournit du courant à 116 électromoteurs, nombre qui a doublé dans l'espace d'un an à peine ; les câbles ont une longueur totale de 47 1/2 km. Quant aux bénéfices de l'année, ils ont été de 613 800 fr, ce qui a permis de répartir 30 fr par action.

Venise. — Éclairage. — Pour éviter tout danger d'incendie, le ministère de l'instruction publique italien a décidé que le palais ducal de Venise serait éclairé à la lumière électrique dans les parties utilisées par l'administration et dans celles où

l'on promenait les étrangers à la clarté de luminaires forts primitifs, les prisons du palais, par exemple. Une commission spéciale étudie l'application du nouveau procédé.

DIVERS

L'éclairage électrique de la gare centrale de Munich. — L'installation se compose de trois machines horizontales du type compound à condenseurs ayant un rendement de 130 chevaux nominaux, 140 au maximum avec une pression de 8,5 atmosphères.

Ces machines actionnent par courroies de transmission trois alternateurs et trois dynamos à courant continu. Un alternateur et une dynamo sont disposés sur un même bâti de fondation et sont reliés ensemble par un couplage élastique Raffard lequel sert en même temps de poulie à la courroie qui entraîne les deux machines ; en cas de besoin, la dynamo seule est entraînée et l'alternateur devient moteur ; en cas d'avaries, les machines peuvent également être séparées.

Le rendement des trois alternateurs est de 51 000 watts à 2 000 volts, celui des dynamos à courant continu de 35 000 watts à 330 volts. Les alternateurs servent à l'alimentation des lampes à arc et des lampes à incandescence placées à l'intérieur des bâtiments ; les dynamos alimentent des lampes à arc placées à l'extérieur de la gare ; ces dernières fournissent en outre le courant nécessaire à l'excitation des alternateurs. Ces machines tournent avec une vitesse angulaire de 428 tours par minute ; quatre de ces machines, c'est à dire 2 paires, fournissent le courant nécessaire à l'alimentation, la troisième paire sert de réserve.

Les alternateurs sont pourvus d'un troisième enroulement supplémentaire pour pouvoir les employer ultérieurement comme moteur pour entraîner les dynamos à courants continus ; le courant alternatif serait fourni par la station hydraulique établie sur l'Isar.

Chaque alternateur a 14 pôles, la fréquence est de 50 ; la température entre le cuivre et le fer s'élève à 40° C. après 16 heures de marche en pleine charge ; un enroulement auxiliaire à basse tension permet de mesurer le voltage de l'alternateur sans employer de transformateurs.

Les trois bâtis de fondations sont isolés de la terre par des pièces de bois imprégnées d'une substance isolante. Afin de protéger les mécaniciens contre les secousses et dangers de toute nature, on a relié ensemble les parties en fer des machines au moyen d'un conducteur isolé ; ce conducteur aboutit à une résistance à induction qui consiste en un petit transformateur à basse tension noyé dans l'huile et communiquant avec la terre ; dans le circuit secondaire de ce transformateur se trouve une sonnerie qui se met en mouvement dès qu'une communication s'établit entre les machines et la terre ; cet appareil constitue également un paratonnerre très efficace.

Le courant total, après avoir été mesuré par des compteurs, est distribué au moyen de commutateurs fixés sur deux tableaux de distribution, dont un pour les courants alternatifs et l'autre pour les courants eontinus ; tous les coupe-circuits se trouvent placés derrière les tableaux afin de diminuer les dangers. De ces tableaux partent 2 conducteurs à haute tension et 9 pour les courants continus.

Les transformateurs sont placés sous de petits hangars en briques construits dans cette intention à l'extérieur de la gare ; la capacité des transformateurs varie de 2,5 à 20 kilowatts, leur rapport de transformation étant de 2000 à 120 volts ; les circuits primaires sont branchés sur les câbles à haute tension et les secondaires sont en partie reliés à un conducteur principal ; dans chaque hangar se trouve une série de commutateurs dont les uns servent à supprimer les courants de haute et basse tension dans le transformateur, et les autres à mettre l'un ou l'autre des transformateurs dans le circuit principal.

Les lampes à arc employées sont d'un modèle de 10 ampères et brûlent pendant 18 heures ; les lampes à courants continus sont supportés par des mâts d'une hauteur de 12 à 18 mètres ; les conducteurs de ces lampes sont en fil de cuivre nu supportés par des isolateurs triples ; des conducteurs isolés sont employés aux branchements et à proximité des lignes télégraphiques ; des isolateurs simples servent pour les conducteurs à basse tension. La distance entre les rails et les conducteurs à haute tension est au minimum de 7 mètres ; des paratonnerres et plombs fusibles sont placés sur tous les circuits.

L'installation comprend 1 114 lampes à incandescence, 76 lampes à arc de 9 ampères et 6 de 12 ampères ; on peut en outre, ajouter 173 lampes à incandescence supplémentaires. Cette installation a été faite par la maison Siemens et Halske.

Le tramway électrique de Gesundbrunnen-Pankow. — La nouvelle ligne de tramways électriques de Gesundbrunnen-Pankow (Allemagne) a été récemment inaugurée, la longueur de la double voie est de 3,4 km, dont 0,9 km sur le territoire de Berlin, les courbes de cette voie sont très graduées la plus courte a un rayon de 25 m. Le système de distribution d'énergie électrique adopté est le conducteur à trôlet qui consiste en un fil de cuivre étiré de 8 mm de diamètre lequel est suspendu au-dessus de la voie à une hauteur de 5 m, supporté par des pylônes en acier système Mannesman ; dans certains cas le conducteur est suspendu par un fil d'acier en double, dont les deux extrémités soigneusement isolées se rattachent au bras courbé des pylônes, ce qui donne à la ligne une meilleure apparence et a l'avantage de réduire l'usure du trôlet en offrant plus d'élasticité au conducteur. Au lieu de se servir du trôlet à roue, on a adopté le modèle Siemens et Halske, qui à l'avantage de n'exiger aucun système de connexions spécial pour les croisements et les changements de ligne.

Les voitures motrices sont au nombre de 8 et possèdent chacune un moteur à 4 pôles d'une force de 25 chevaux; la transmission mécanique s'obtient par un simple engrenage à réduction dont le rapport est de 1-5, la plus petite des roues de cet engrenage est en bronze et l'autre en acier, toutes deux sont renfermées dans un coffret plein d'huile.

La vitesse moyenne est de 17,5 km et peut s'élever jusqu'a 25 km à l'heure, chaque voiture peut contenir 30 voyageurs.

L'énergie électrique est fournie par deux machines compound à condenseurs ayant un rendement de 110 chevaux chacune, la vitesse angulaire de ces machines est de 135 tours par minute ; elles sont directement couplées à deux dynamos de 75 kilowatts, les pôles de ces derniers sont au nombre de 8 par dynamo et sont fixés intérieurement, la tension est de 500 volts.

Le départ des voitures est fixé à 10 minutes d'intervalle pour les jours de semaine et 5 minutes pour les dimanches et jours fériés.

Utilisation des eaux de l'Isar. — On vient de construire près de Munich, une station hydraulique destinée à fournir à cette ville, de l'énergie électrique, et le courant nécessaire pour l'éclairage.

La digue construite sur l'Isar est en ciment de Portland et mesure 100 mètres de long. La première usine est bâtie à 800 mètres en aval du déversoir et possède quatre turbines. La chute moyenne est 3,6 mètres, d'un débit de 50 mètres cubes par seconde et déploie une force de 2 000 chevaux ; dans les plus basses eaux, cette force est encore de 1 500 chevaux. A cette usine pourront être adjointes deux autres de même puissance, ce qui permettra d'utiliser une puissance totale de 6 000 chevaux.

Les quatre turbines de l'usine construite actionnent directement les alternateurs au moyen d'un engrenage et impriment à celles-ci une vitesse de 105 tours par minute ; ces alternateurs sont à courants triphasés et fournissent 350 kilowatts à 5 000 volts. On ne pût employer de régulateurs automatiques pour les turbines à cause des grandes variations du niveau des eaux ; on les a remplacés par des rhéostats.

Environ 66 pour 100 de l'énergie fournie est utilisée par des électromoteurs. La plupart de ceux-ci n'ont aucun système de régulation automatique, la chute de potentiel ne dépassant pas 5 pour 100. Dans le cas des grands moteurs, comme ceux employés par les moulins, l'énergie est fournie par des alternateurs ne seront qu'à cet usage.

La transmission est faite par des conducteurs formés d'un fil de cuivre nu de 8 mm de section, supporté par des isolateurs en porcelaine fixés sur des poteaux. Les transformateurs réduisent les 5000 volts à 110 volts.

Chaque grand moteur en possède un affecté à lui seul ; les autres transformateurs servent à l'éclairage de la ville et à alimenter les petits moteurs. Ils sont contenus dans des petits bâtiments isolés de l'usine principale qui renferment aussi les commutateurs et coupe-circuits pour les conducteurs à haute et basse tension.

Le courant est distribué aux diverses lampes et aux petits moteurs (ceux-ci sont à courants monophasés ou triphasés indifféremment) par un réseau de fils suspendus au-dessus des rues, et est réglé d'après la durée de fonctionnement probable de chaque groupe de lampes ou moteurs. Le prix est fixé à raison de 0,13 fr par ampère-heure pour l'éclairage et de 0,55 fr par cheval-heure ; une réduction de ces prix est faite pour les grandes consommations.

Quoique cette usine installée sur l'Isar ne soit qu'au début de son exploitation, la presque totalité de l'énergie électrique qu'elle fournit est déjà absorbée par 2 500 lampes, 30 moteurs d'un quart

de cheval et 25 d'un cheval. Ce succès va probablement nécessiter la construction des autres usines qui avaient été projetées pour utiliser les 6000 chevaux donnés par les eaux de cette rivière.

Les Métropolitains électriques. — Nous n'avons pas encore le relevé exact des dépenses du Métropolitain Electrique de Chicago; l'expérience a toutefois montré que les dépenses de traction par l'électricité s'y sont élevées à 45 pour 100 des recettes brutes. On comprendra mieux l'importance de ce chiffre par le calcul suivant que nous empruntons à *The Engineering and Mining Journal*. Sur la ligne de Lake Street Elevated Railroad, à Chicago, qui est exploitée par locomotives à vapeur, et est en déficit, le nombre de voyageurs est, par jour, de 35 000. Les bénéfices bruts, si la traction était opérée électriquement, seraient de 1 811 560 fr; les charges fixes sont de 1 401 185 fr. Le bénéfice net à distribuer aux actionnaires serait donc de 410 355 fr. Aussi, cette dernière ligne va-t-elle être bientôt équipée électriquement. Les frais d'installation s'élèveront à environ 1 250 000 fr, y compris les dépôts des wagons et les ateliers de réparation pour 38 voitures.

La traction électrique sur les chemins de fer métropolitains s'impose de plus en plus en raison de l'économie considérable qu'elle permet de réaliser sur la traction à vapeur, du comfort plus grand pour les voyageurs et pour les riverains, et en raison de la concurrence sans cesse croissante des tramways électriques. Cette dernière a une importance capitale. Pour compléter ce que nous avons déjà dit à ce sujet, nous publierons la statistique suivante relative au Métropolitain élevé de New-York :

TABLEAU I

Statistique comparée de l'exploitation de Manhattan Elevated Railroad, de New-York.

	Années finissant le 30 septembre		
	1893	1894	1895
Recettes brutes	55 685 250 fr	50 690 715 fr	48 729 630 fr
Dépenses d'exploitation	31 050 795	30 477 785	30 664 135
Recettes d'exploitation	24 634 450	20 212 930	18 065 495
Charges fixes	10 075 375	10 012 030	11 024 435
Bénéfice net	14 589 080	10 200 895	7 041 060
Intérêts payés	9 000 000	9 000 000	9 000 000
Surplus	5 559 080	1 200 895	déficit 1 958 940
Dividendes	9,71 %	6,8 %	4,69 %

Ainsi donc, tandis que les dépenses sont restées constantes, les recettes ont diminué, en trois ans, de plus de 7 000 000 fr, et, l'année dernière, le bilan de fin d'année s'est traduit par une perte de près de 2 000 000 fr.

En décidant que le Métropolitain, à Paris, serait électrique, le Conseil municipal a donc fait preuve d'une grande sagesse.

Les chemins de fer de l'Europe en 1894. — La direction des chemins de fer au ministère des travaux publics vient de publier la situation des chemins de fer de l'Europe livrés à l'exploitation au 31 décembre 1894. Voici le tableau général comparé à la situation du 31 décembre 1893 :

SITUATION DES CHEMINS DE FER DE L'EUROPE

Etats	Longueur des chemins de fer livrés à l'exploitation au 31 déc. 93	au 31 déc. 94	Accroissement en 1894	
—	—	—	—	—
	km	km	km	0/0
Allemagne	44 842	45 577	735	1,63
Autriche-Hongrie	29 160	30 038	878	3,01
Belgique	5 473	5 545	72	1,31
Danemark	2 235	2 267	36	1,61
Espagne	11 433	12 147	712	6,22
France	39 359	39 979	620	1,57
Gde-Bretagne et Irlande	32 219	33 580	361	1,12
Grèce	915	915	»	»
Italie	14 184	14 626	442	3,11
Pays-Bas	2 661	2 067	6	0,22

Luxembourg	435	435	»	»
Portugal	2 340	2 340	»	»
Roumanie	2 573	2 581	8	0,31
Russie	31 364	33 316	1 952	6,22
Finlande	2 087	2 227	140	6,70
Serbie	540	540	»	»
Suède	8 782	9 234	452	5,14
Norwège	1 611	1 719	108	6,70
Suisse	3 423	3 477	54	1,57
Turquie, Bulgarie et Roumélie	1 818	2 010	192	10,56
Iles de Malte, Jersey et Man	119	110	»	»
Totaux	238 562	245 330	6 768	2 83

C'est la Russie qui tient la tête pour l'accroissement kilométrique des lignes, avec 1 952 km. Dans ces chiffres on n'a pas compris le chemin de fer transcaspien (1 433 km) et la section du chemin de fer sibérien, entre Vladivostock et Nikopolskoc (108 km).

L'Autriche-Hongrie vient après, avec une augmentation de 878 km, se répartissant comme suit : Autriche, 285 km ; Hongrie, 552 km ; Bosnie et Herzégovine, 41 km.

En troisième ligne, l'Allemagne vient avec 735 km de plus qu'en 1893.

Voici le détail de cette augmentation : Bade, 35 km ; Bavière, 94 km ; Prusse, 533 km ; Saxe, 7 km ; Wurtemberg, 44 km ; autres États, 52 km.

L'Espagne vient après avec 712 km d'augmentation.

La France ne vient qu'en cinquième ligne, avec 620 km.

Proportionnellement à la population, c'est la Suède qui vient en première ligne avec 1 910 km par 1 000 habitants. La Suisse vient ensuite avec 1 188 km. La France vient en troisième ligne avec 1 040 km.

Proportionnellement à la superficie, la Belgique vient en tête avec 188 km par kilomètre carré.

Viennent ensuite : la Grande-Bretange, 107 km ; les Pays-Bas, 87 km ; l'Allemagne et la Suisse, 84 km. La France ne vient qu'en sixième rang avec 76 km.

Les lampes à hauts voltages et les inconvénients de leur emploi. — La possibilité de construire des lampes à incandescence d'intensités lumineuses courantes et fonctionnant sous un voltage élevé, avait fait naître l'espoir de pouvoir augmenter le potentiel de distribution des stations centrales et, par suite, d'augmenter la puissance des stations sans rien changer aux conducteurs de distribution. Dans son discours à la *Northern Society of Electrical Engineers*, M. James Fawcus, présente à ce sujet, les observations suivantes :

« Actuellement, dans plusieurs stations électriques, on emploie des lampes qui fonctionnent sous des voltages de 200 à 230 volts, et se comportent bien, quand elles sont convenablement fabriquées. Celles qui jusqu'ici se sont montrées les meilleures, renferment, disposés en série, deux filaments, dont aucun ne supporte un voltage anormal : dans ce mode de construction, on peut descendre jusqu'à la lampe de 8 bougies avec 230 volts, et on peut fabriquer des lampes de 16 bougies pour 400 volts. Les ingénieurs seront donc tentés d'élever graduellement les voltages à l'intérieur des habitations, et une remarque devient nécessaire. L'emploi de voltages élevés, jusqu'à 400 volts, ne donne lieu à aucune objection dans les bâtiments publics ou autres, dont les appareils, placés en dehors des atteintes des allants et venants, sont soumis à une surveillance sérieuse ; mais dans les maisons particulières et les bureaux, où l'on ne peut empêcher le premier venu de toucher aux fils des appareils, 200 à 250 volts sont une limite supérieure au point de vue de la sécurité des personnes. Lors même qu'il n'y aurait pas à craindre l'issue fatale d'un choc électrique de 250 à 400 volts, ce qui n'est pas démontré, les sujets délicats ou mal disposés pourraient en éprouver de très graves conséquences. D'ailleurs cette substitution de la haute à la basse pression demanderait des précautions minutieuses : les types de commutateurs et appareils de contrôle employés ordinairement sont tout à fait insuffisants pour des voltages bien supérieurs à ceux qu'on avait prévus, et, dans le cas d'installations anciennes, l'isolement des fils serait insuffisant. »

Il paraît donc nécessaire, avant de modifier les habitudes actuelles, d'examiner de très près la question.

La stérilisation des eaux par l'ozone. — On s'occupe beaucoup en ce moment, dans la région du nord de la France, de la stérilisation industrielle des eaux par l'ozone.

Les savants allemands mirent en première ligne l'épuration des eaux de rivière destinées à l'alimentation. L'office sanitaire impérial allemand chargea le docteur Ohlmuller d'étudier la question.

Les expériences démontrèrent le pouvoir microbicide considérable de l'ozone. Le docteur Ohlmuller s'est servi d'un petit ozonateur : il avait à sa disposition un moteur à gaz d'un cheval et une dynamo de 65 volts et 8 ampères. L'air qu'il électrisait n'était pas refroidi, mais desséché au préalable par son passage au travers d'un flacon laveur contenant de l'acide sulfurique.

Dès les premiers essais, on s'aperçut des difficultés considérables que l'on rencontre quand on veut détruire les microbes répandus sous forme de poussières sèches sur les parois des murs et à la surface des objets. On en conclut que l'ozone ne convient pas pour désinfecter les chambres et les objets divers. Le docteur Ohlmuller songea à atteindre les microbes suspendus dans les liquides, en y faisant barboter de l'air chargé d'ozone, et il put se convaincre qu'à l'état humide la destruction est assurée. Il parvint à stériliser absolument de l'eau distillée contenant en suspens plusieurs millions de spores très résistantes du bacille du charbon par centimètre cube. En faisant passer pendant 10 minutes 5 litres d'air, contenant 15,2 milligrammes d'ozone par litre, dans l'eau qui titrait 3 717 000 spores par centimètre cube le liquide était débarrassé de ces germes. Des quantités moindres suffirent pour stériliser l'eau distillée chargée de germes de typhoïde ou de choléra.

Par contre, de grands volumes d'ozone se montrèrent incapables de stériliser des eaux chargées de faibles quantités de matières organiques, une dissolution de sérum (à 0,25 pour 100 dans de l'eau distillée par exemple). Ces matières sont attaquées en premier lieu par l'ozone, et leur présence en quantité considérable peut ainsi mettre obstacle à la destruction des microbes. En calculant la quantité de matières organiques dissoutes dans l'eau et son degré d'oxydabilité d'après le permanganate réduit, on pourrait se rendre compte exactement de l'action stérilisatrice que l'ozone, à un certain degré de concentration, pourra exercer sur cette eau. Plus une eau est souillée par des substances organiques d'origine végétale ou animale, plus son titre en permanganate est élevé, et plus grande sera la quantité d'ozone nécessaire pour la stériliser. Au contraire, le nombre de microbes qu'elle renferme est pour ainsi dire sans influence aucune, une eau pauvre en matières organiques dissoutes ne demandant pas plus d'ozone pour être stérilisée quand elle contient plusieurs millions de microbes par centimètre cube que quand elle en renferme quelques centaines.

En résumé : l'ozone a une action destructive évidente sur les bactéries suspendues dans une eau, pourvu que cette eau ne soit pas souillée par des substances organiques en trop grande quantité. Le résultat est le même quand la masse des matières organiques inertes est, au préalable, oxydée jusqu'à un certain point par l'ozone.

Plusieurs brasseurs de la région du Nord, vont, paraît-il, tenter ce système de stérilisation.

L'électro-aimant comme appareil de levage. — Cette application rend de grands services à l'arsenal de Woolwich, pour la manœuvre des projectiles destinés à l'essai des canons. Ces projectiles ont la forme de cylindres longs de 30 cm au maximum ; ils sont en fonte de fer dure ou en acier fondu ; ils pèsent au maximum 820 kg. Ils sont empilés les uns sur les autres. Cette disposition ainsi que leur forme en rendaient la manœuvre très difficile. M. H. C. L. Holden a eu l'idée, il y a environ 4 ans d'employer l'électro-aimant à cet usage. Le noyau de l'électro a la forme d'un U renversé ; il est en une seule pièce. Les enroulements sont protégés par de fortes armures en laiton. Les fils sont doubles pour éviter les accidents. Le courant est amené par des câbles souples passant sur la grue de levage ; son intensité est de 3 à 4 ampères sous 20 à 30 volts. On n'a pas déterminé la force portante exacte de cet appareil qui peut soulever facilement 2 projectiles de 820 kg chacun. Le poids total de l'appareil est de 20,5 kg.

La production du platine en Russie. — Les dernières statistiques officielles russes indiquent qu'en 1893 — l'année où s'arrêtent les renseignements — il a été extrait 311 pouds de platine, soit 5 070 kg, un poud valant 16,3 kg. En 1892, la quantité extraite était inférieure de 30 pouds.

Le prix a varié entre 7 000 et 8 000 roubles par poud, soit entre 1 700 et 1 800 fr environ le kg, le rouble valant 4 fr.

Généralement le platine est exporté de Russie à l'état brut. Deux maisons seulement pour la purification de ce métal existent en Russie : ce sont l'usine Tomteley et le laboratoire de Kolbe, toutes deux à Saint-Pétersbourg.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. MAUCHAUSSAT, 32, Boulevard de Vaugirard.

Tome VII Samedi 18 Avril 1896 3e Année. — N° 16

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LA THÉORIE DU TRANSFORMATEUR GÉNÉRAL DE M. STEINMETZ

Quelques-uns de nos confrères étrangers et français reproduisent en ce moment, sans aucun commentaire du reste, une récente théorie des moteurs asynchrones due à M. Steinmetz (1) et basée toujours sur l'emploi des quantités complexes.

L'auteur reprenant une idée déjà ancienne y traite le cas d'un transformateur à secondaire mobile, qu'il appelle transformateur général à courant alternatif, appareil qui comprend comme cas particulier le transformateur et le moteur asynchrone. C'est en somme la généralisation de la théorie du transformateur que j'ai reproduite dans mon précédent article.

Il y est tenu compte des effets dues a l'hystérésis et aux courants de Foucault; quant aux fuites magnétiques, leur introduction à l'aide d'inductances de définition particulière donne à cette théorie un caractère de complexité sur celles plus récentes de MM. Behn-Eschenburg, Blondel, Bahrend, etc..

L'auteur y étudie en outre un cas général théorique assez intéressant qui permet de retrouver très facilement certaines propriétés des moteurs asynchrones déjà signalées par MM. Hutin et Leblanc et susceptibles d'applications industrielles importantes, particulièrement en ce qui concerne la marche en parallèle des alternateurs.

Avant de reproduire les calculs de M. Steinmetz en y supprimant les nombreuses fautes d'impressions, rappelons avec lui ce qu'il appelle la self-induction d'un transformateur (1). En dehors du flux commun embrassé par les deux circuits primaire et secondaire il existe pour chaque enroulement un flux traversant un des circuits sans traverser l'autre, Ce flux est proportionnel au courant total qui circule dans cet enroulement et constitue ce que M. Steinmetz appelle la self-induction de cet enroulement du transformateur. La self-induction de chaque enroulement d'un transformateur serait donc une faible partie du flux total produit par celui-ci (2).

Néanmoins le flux commun est toujours, produit par la résultante des forces magnétomotrices primaire et secondaire et est déterminé d'après M. Steinmetz par la force

(1) *Transactions of the Américan Institut of Electrical Engeneers*, 1895.

(1) *Lumière électrique*. Voir un article de l'auteur intitulé « La méthode de M. Steinmetz, pour le calcul des courants alternatifs », t. L, p. 556, 1893.

(2) C'est cette self-induction ou la résistance correspondante que j'ai designée dans mon précédent article sous le nom de réactance *vraie*, pour la distinguer de la réactance *propre* qui sert plus spécialement à désigner la réactance ordinaire $\frac{2\pi}{T}$ L. J'avoue toutefois qu'il peut encore y avoir ambiguité, aussi je désignerai dans ce qui suit, la première par l'expression de réactance *de fuite*, de même pour la susceptance.

contre électromotrice, la fréquence N et le nombre de tours à l'aide de la formule

$$E = \sqrt{2}\,\pi\, N\, n\, \Phi\, 10^{-8}.$$

Cette formule n'est exacte qu'à condition d'y voir en E la force électromotrice *effective*.

Sans insister plus longtemps, passons à l'exposé de la théorie de M. Steinmetz.

Dans le cas général que nous considérons, la fréquence n'étant plus la même dans le primaire (inducteur) et dans le secondaire (induit), si nous désignons par g le glissement exprimé en fraction de la vitesse du synchronisme, la fréquence des courants induits sera gN, N étant celle des courants inducteurs.

Suivant les différents ordres de grandeur donnés à g nous aurons tous les cas qui peuvent se présenter.

Si g est négatif, l'induit, que nous supposerons mobile pour fixer les idées, devra tourner à une vitesse supérieure à celle qui correspond au synchronisme. La théorie qu'ont faite autrefois MM. Hutin et Leblanc [1] montre qu'alors l'appareil absorbe de la puissance mécanique et devient générateur. Ce genre de machine utilisé par les deux ingénieurs précédents est appelé par eux machine à renforcement de courant.

Si $g = 0$, l'induit tourne à la vitesse du synchronisme.

Si g est inférieur à 1, il y a retard de la vitesse de l'induit sur celle du synchronisme, c'est le cas d'un moteur asynchrone.

Si $g = 1$, l'induit devient fixe; nous avons un transformateur à courant alternatif au sens ordinaire du mot.

Si g est supérieur à 1, le sens de rotation du secondaire devient en sens contraire du couple moteur exercé sur ce secondaire par le primaire. Dans ce cas encore il est donc nécessaire de fournir de la puissance mécanique à l'appareil.

On rencontre une application de ceci dans un moteur asynchone monophasé, qui, comme l'ont montré MM. Blondel [1] et Ferraris [2], peut être regardé comme la superposition de deux moteurs polyphasés tournant en sens contraire ; le moteur fictif polyphasé tournant en sens contraire a pour effet de diminuer le couple moteur fourni par le premier empruntant ainsi à celui-ci la puissance mécanique nécessaire dont nous venons de parler.

Soient toujours :

n_1 le nombre de spires primaires ;
n' » » secondaires ;
k le rapport $\frac{n_1}{n_2}$,

$$P_1 = \rho_1 - \sigma_1 \sqrt{-1}$$

l'admittance, sous forme de quantité complexe [3], de la bobine primaire où il est tenu compte, comme je l'ai indiqué précédemment [4], des pertes dues aux effets d'hystérésis et aux courants de Foucault, c'est à dire ou ρ_1 est la *conductance équivalente* (pour laquelle M. Blondel propose le nom d'*acceptance*) et σ_1 la *susceptance propre* équivalente;

$$R_1 = r_1 + s_1\sqrt{-1},$$

l'impédance primaire, qui n'est pas ici l'inverse de la précédente r_1 et s_1 étant la résistance ohmique et la réactance vraie ou *de fuite* du circuit ;

$$R_{1\cdot 2} = r_2 + s_2\sqrt{-1};$$

et

$$P_{1\cdot 2} = \rho_2 - \sigma_2\sqrt{-1},$$

l'impédance interne où sa réactance de fuite du secondaire et l'admittance totale [5] du circuit secondaire dans le cas où l'induit

---

[1] *Lumière Électrique*. Etude sur les courants alternatifs et leur application au transport de l'énergie. Vol. XL, pages 374 et suivantes. 1891.

[1] *Lumière Électrique*. Notes sur la théorie élémentaire des appareils à champ tournant. Vol. L, page 322, 1894.

[2] *Lumière Électrique*. Voir un article de l'auteur intitulé « les vecteurs tournants et alternatifs ». Vol. L, page 351. 1894.

[3] *Éclairage Électrique* du 1er février 1896.

[4] *Éclairage Électrique* du 29 février 1896.

[5] La quantité σ_2 est ici la somme de la susceptance de fuite du secondaire et de la susceptance propre équivalente du circuit extérieur.

est fixe ($g=1$). Avec un glissement g ces quantités seront :

$$R_2 = r_2 + g s_2 \sqrt{-1},$$

et

$$P_2 = \rho_2 - g \sigma_2 \sqrt{-1}.$$

Nous aurons en outre :

$$\rho_2 = \frac{r_2 + r}{(r_2+r)^2 + (s_2+s)}$$

$$\sigma_2 = \frac{s_2 + s}{(r_2+r)^2 + (s_2+s)},$$

r et s (¹) étant la résistance et l'inductance propre du circuit extérieur.

Nous avons donné dans l'article précité les équations générales du transformateur sous leurs formes condensées, elles sont analogues ici (¹), nous nous dispenserons donc de les établir à nouveau et nous nous contenterons seulement de donner les résultats. Le courant secondaire est ;

$$I_2 = E_2 P_2 ;$$

Le courant primaire :

$$I_1 = I'_1 + I''_1 = \frac{E_2}{k}\left(P_2 + \frac{k^2 P_1}{g}\right) ;$$

La tension aux bornes primaires :

$$U_1 = \frac{k E_2}{g}\left(1 + R_1 P_1 + \frac{g R_1 P_2}{k^2}\right) ;$$

la tension aux bornes secondaires :

$$U_2 = E_2 (1 - R_2 P_2),$$

le rapport des intensités :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{k}\left(1 + \frac{k^2 P_1}{g P_2}\right),$$

celui des tensions :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{k}{g} \frac{1 + R_1 P_1 + \frac{g R_1 P_2}{k^2}}{1 - R_2 P_2}.$$

(¹) Ceci s'applique seulement au cas où le secondaire contient une résistance inductive, ou plus généralement une réactance proportionnelle à la fréquence. Dans un condensateur, au contraire, la réactance est inversement proportionnelle à la fréquence et dans un moteur synchrone elle peut dans certains cas être indépendante de la fréquence. En général on devra donc poser pour la réactance totale du circuit extérieur

$$s = s' + s'' + s'''$$

à la vitesse du synchronisme et pour un glissement k

$$k s = h s' + \frac{s'}{k} \pm \frac{s'''}{k^2}$$

s', s'' et s''' ayant des significations évidentes.

Nous y joindrons l'inpédance apparente du primaire :

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = k^2 \frac{1 + R_1 P_1 + \frac{g R_1 P_2}{k^2}}{g P_2 + k^2 P_1}.$$

Avant de développer ces équations, il est bon de faire remarquer que M. Steinmetz pour les établir suppose que les forces électromotrices induites sont dues à un flux commun, pour ne tenir compte des fuites magnétiques qu'au moment où il retranche géométriquement de celles-ci les chutes de tensions $-R_1 I_1$ et $R_2 I_2$.

Le rapport de transformation n'est pas ici égal aux rapports des forces électromotrices induites ou $\frac{n_1}{n_2}$ (²).

Si nous faisons avec M. Steinmetz

$$E_1 = n_1 e,$$

et

$$E_2 = g n_2 e,$$

nous aurons pour les équations d'un transformateur au sens général du mot, en remplaçant les quantités complexes par leurs valeurs : Pour le courant secondaire :

$$I_2 = g n_2 e [\rho_2 - \sigma_2 \sqrt{-1}] = \frac{g n_2 e}{(r_2+r) + g(s_2+s)\sqrt{-1}}.$$

Pour le courant total primaire :

$$I_1 = \frac{g n_2 e}{k}\left(\frac{1}{(r_2+r)+g(s_2+s)\sqrt{-1}} + \frac{k^2(\rho_1 - \sigma_1\sqrt{-1})}{g}\right).$$

Pour la différence de potentiel aux bornes primaires :

$$U_1 = k g n_2 e \left[\frac{1}{g} + \frac{(r_1 + s_1\sqrt{-1})(\rho_1 - \sigma_1\sqrt{-1})}{g} + \frac{r_1 + s_1\sqrt{-1}}{(r_2+r)+g(s_2+s)\sqrt{-1}} \frac{1}{k^2}\right],$$

$$U_1 = n_1 e \left[1 + (r_1 + s_1\sqrt{-1})(\rho_1 - \sigma_1\sqrt{-1}) + \frac{r_1 + s_1\sqrt{-1}}{(r_2+r)+g(s_2+s)\sqrt{-1}} \frac{g}{k^2}\right];$$

(¹) Il suffit en effet qu'on y remplace le rapport k par le rapport $\frac{k}{g}$ pour tenir compte de la différence de fréquence des courants dans l'inducteur et dans l'induit. Il n'y a d'exception que pour l'égalité $I'_1 = \frac{E_2 P_2}{k}$ qui reste la même.

(²) Si l'on prend les mêmes notations que M. Blondel dans sa récente théorie des moteurs asynchrones, ce

Et enfin pour la différence de potentiel aux bornes du secondaire :

$$U_2 = n_2 g e \left(1 - \frac{r_2 + g s_2 \sqrt{-1}}{(r_2 + r) + g (s_2 + s) \sqrt{-1}}\right),$$

$$U_2 = n_2 g e \frac{r + g s \sqrt{-1}}{(r_2 + r) + g (s_2 + s) \sqrt{-1}} .$$

Le rapport des courants $\frac{I_1}{I_2}$ est de même :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{k} \left\{ 1 + \frac{k^2}{g} (\rho_1 - \sigma_1 \sqrt{-1}) [(r_2 + r) + g (s_2 + s) \sqrt{-1}] \right\};$$

Celui des tensions a pour expression .

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{k}{g} \frac{1 + \frac{g}{k^2} \frac{r_1 + s_1 \sqrt{-1}}{(r_2 + r) + g (s_2 + s) \sqrt{-1}} + (r_1 + s_1 \sqrt{-1}) (\rho_1 - \sigma_1 \sqrt{-1})}{1 - \frac{r_2 + g s_2 \sqrt{-1}}{(r_2 + r) + g (s_2 + s) \sqrt{-1}}};$$

Enfin l'expression de l'impédance apparente R'_1 est :

$$R'_1 = \frac{k^2}{g} \frac{1 + \frac{g}{k^2} \frac{r_1 + s_1 \sqrt{-1}}{(r_2 + r) + g (s_2 + s) \sqrt{-1}} + (r_1 + s_1 \sqrt{-1}) (\rho_1 - \sigma_1 \sqrt{-1})}{\frac{1}{(r_2 + r) + g (s_2 + s) \sqrt{-1}} + \frac{k^2 (\rho_1 - \sigma_1 \sqrt{-1})}{g}}$$

Il suffirait de faire $g = 1$ pour avoir les équations du transformateur ordinaire à courant alternatif.

De même en faisant : $r = 0$, $s = 0$ dans ces équations on obtiendrait celles d'un moteur asynchrone.

Pour discuter les équations précédentes, la séparation des quantités réelles et imaginaires s'impose :

Posons tout d'abord pour simplifier :

$$(r_2 + r)^2 + g^2 (s_2 + s)^2 = A^2.$$

D'autre part, supposons avec M. Steinmetz qu'on néglige le courant d'excitation ou plus exactement qu'on considère le moteur comme ayant un enroulement shunt spécial fournissant les courants magnétisants et admettons que l'impédance primaire réduite au circuit secondaire soit égale à l'impédance du secondaire ; ce qui se traduit pour la première supposition par :

$$P_1 = 0,$$

et pour la seconde par :

$$R_1 = \frac{n_1^2}{n_2^2} R_{2 \cdot 2} = k^2 R_{2 \cdot 2}.$$

rapport sera toujours (*Éclairage Électrique*, Vol. V, page 102) :

$$\frac{n_1}{n_2} \times \frac{K_1}{K_2} \times \sqrt{1 + \sigma^2 \Omega g \frac{\lambda_2}{r_2}}.$$

Les équations générales deviendront alors

$$I_2 = \frac{g e n_2}{A^2} [(r_2 + r) - g (s_2 + s) \sqrt{-1}],$$

$$I_1 = \frac{g e n_2}{k A^2} [(r_2 + r) - g (s_2 + s) \sqrt{-1}],$$

$$U_1 = n_1 e \left\{ 1 + \frac{g}{A^2} [r_2 (r_2 + r) + g s_2 (s_2 + s)] - \frac{g}{A^2} [g r_2 (s_2 + s) - s_2 (r_2 + r)] \sqrt{-1} \right\}.$$

$$U_2 = \frac{g n_1 e}{A^2} [r (r_2 + r) + g^2 s (s_2 + s) - g (r s_2 - s r_2) \sqrt{-1}]$$

Ces expressions permettent de calculer les puissances.

On devrait faire pour cela des produits de la forme $E I \cos \varphi$ ou de la forme $r I^2$, pour les premiers, il est facile de voir que l'on a :

$$W = E_{eff} I_{eff} \cos (\omega - \omega') = a c + b d,$$

en posant :

$$E_{eff} = a + b \sqrt{-1} \qquad I_{eff} = c + d \sqrt{-1}.$$

et

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{b}{a}, \qquad \operatorname{tg} \omega' = \frac{d}{c}.$$

Nous aurons donc pour la puissance consommée à l'extérieur du transformateur :

$$W_2 = r I_2^2 = \left(\frac{g n_2 e}{A}\right)^2 r = g r w,$$

en posant :

$$\frac{g n_2^2 e^2}{A^2} = w ;$$

puis, pour la puissance perdue dans le secondaire :

$$W'_2 = r_2 I_2^2 = g r_2 w,$$

ce qui donne pour la puissance totale secondaire ·

$$W_2 + W'_2 = g w (r + r_2).$$

Les pertes dans le primaire, sont :

$$W'_1 = r_1 I_1^2 = \frac{g r_1 w}{k_2},$$

et d'après ce qu'on suppose plus haut ($R_1 = k^2 R_{11}$) :

$$W'_1 = g r_2 w.$$

La puissance électrique totale plus les pertes est :

$$W'_1 = W_2 + W'_2 + W'_1 = g \omega (r + 2 r_2).$$

La puissance totale fournie au circuit primaire est de même :

$$W_1 = \frac{g n_1 n_2 e^2}{k A^2} (r + r_2 + g r) = w (r + r_2 + g r_2).$$

La puissance transformée en travail mécanique s'en déduit :

$$W = W_1 - W'_1 = w (1 - g) (r + r^2),$$

ainsi que le rapport de la puissance mécanique fourni par l'appareil à la puissance totale absorbée dans le secondaire :

$$\frac{W}{W_2 + W_2^1} = \frac{1 - g}{g} = \frac{\text{vitesse induit}}{\text{glissement}}.$$

En résumé, donc dans un transformateur général, en négligeant le courant magnétisant, on a :
pour la puissance fournie au primaire :

$$W_1 = \frac{g n_2^2 e^2 (r + r_2 + g r_2)}{(r_2 + r)^2 + g^2 (s_2 + s)};$$

Pour la puissance électrique transformée en travail mécanique :

$$W = \frac{g (1 - g) n_2^2 e^2 (r + r^2)}{(r_2 + r)^2 + g^2 (s_2 + s)^2};$$

Pour la puissance électrique consommée à l'extérieur du secondaire :

$$W_2 = \frac{g^2 n_2^2 e^2 r}{(r_2 + r)^2 + g^2 (s_2 + s)^2};$$

Et enfin pour les pertes dans l'appareil ·

$$W'' = W'_2 + W'_1 = \frac{2 g^2 n_2^2 e^2 r_2}{(r_2 + r)^2 + g^2 (s_2 + s)}.$$

Parmi ces quantités, la puissance absorbée par le primaire et celle tranformée en travail mécanique sont seules succeptibles de changer de signe suivant les valeurs de g.

Examinons les différents cas qui peuvent se présenter :

1° $g = 0$ l'induit tourne synchroniquement ; seule la puissance fournie au moteur n'est pas nulle, toutes les autres le sont.

2° $0 < g < 1$. Toutes les puissances sont positives, l'appareil absorbe une certaine puissance électrique W_1 et la restitue, sauf la perte W'_1 sous forme de puissance mécanique W et sous forme de puissance électrique $W_2 + W'_2$ dans le secondaire, une partie W'_2 à l'intérieur de ce circuit et l'autre à l'extérieur.

Les puissances mécanique et électrique transmises au secondaire par le primaire sont dans le même rapport que celui de la vitesse de l'induit au glissement.

L'appareil est un moteur et un transformateur au sens ordinaire du mot ; c'est le cas d'un moteur asynchrone avec résistance dans l'induit.

3° $g = 1$ Transformateur ordinaire.

4° $g > 1$. — L'appareil tourne en sens contraire. La puissance mécanique est négative, il est donc nécessaire de fournir du travail mécanique à l'appareil ; de plus, on a :

$$W_1 - (W'_1 + W_2) < W_2.$$

Ce qui montre que la puissance fournie par le secondaire W_2 est empruntée en partie seulement à celle fournie par le primaire le surplus résulte de la transformation d'une partie de l'énergie mécanique fournie à l'appareil. Celui-ci est alors à la fois un alternateur à fréquence supérieure à celle du primaire et un transformateur. On retrouve donc ainsi un résultat un peu plus général que celui signalé par MM. Hutin et Leblanc.

5° $g < 0$. L'appareil tourne à une vitesse

supérieure à celle correspondant au synchronisme.

Le travail mécanique obtenu étant négatif l'appareil absorbe de la puissance mécanique.

La puissance absorbée par le primaire est positive ou négative suivant le signe de :

$$r + r_1 + g\, r_1,$$

$a) -g > \frac{r + r_1}{r_1}$. — La puissance fournie au primaire est négative, l'appareil est un générateur double donnant des courants de fréquences différentes par son primaire et son

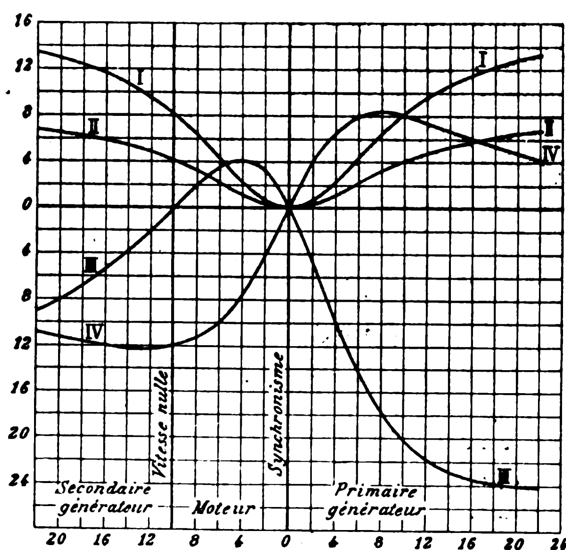


Fig. 1.

secondaire. Le cas particulier $r = 0$ $s = 0$ $(-g > 1)$ correspond à la génératrice de MM. Hutin et Leblanc; la source n'a plus alors à fournir que le courant magnétisant. La génératrice, tout en étant synchronisée avec son excitatrice, n'est plus tenue de tourner synchroniquement avec elle.

Disons en passant que l'ensemble une fois excité, on peut ne plus fournir aucune puissance mécanique à la source de courant de fréquence N qui fonctionne alors comme un moteur synchrone couplé en parallèle avec la génératrice asynchrone renforceuse au glissement près.

$b) -g < \frac{r + r_1}{r_1}$. — La puissance fournie au primaire par la source est positive. La puissance électrique du secondaire provient alors à la fois de celle fournie au primaire et de la transformation de la puissance mécanique.

Comme application de ce qui précède M. Steinmetz donne les courbes de la figure 1 représentant en ordonnées en fonction du glissement g porté en abscisse :

pour I : la puissance électrique secondaire extérieure.
» II : les pertes totales.
» III : la puissance mécanique.
» IV : la puissance absorbée par le primaire.

Les données sont :

$$n_2\, e = 100,$$
$$r_1 = 0{,}1 \qquad s_1 = 0{,}2,$$
$$r = 0{,}4 \qquad s = 0{,}3,$$

d'où

$$W_2 = \frac{16000\, g^2}{1 + g^2},$$
$$W'' = \frac{8000\, g^2}{1 + g^2},$$
$$W = \frac{20000\, g\,(1 - g)}{1 + g^2},$$
$$W_1 = \frac{4000\, g\,(5 + g)}{1 + g^2}.$$

Comme on le voit, la méthode de M. Steinmetz donne un moyen d'investigation rapide, mais on ne peut songer pas plus que dans le cas particulier du transformateur ordinaire à en déduire une méthode de calcul des moteurs asynchrones.

F. Guilbert.

LA TÉLÉPHONIE A GRANDE DISTANCE

AU MOYEN DE L'INDUCTION MULTIPLE

Réponse aux objections de M. A. Hess

Les critiques de M. Hess [1] publiées au sujet de mon dernier article [2] sur un nouveau mode de téléphonie à grande distance,

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 198, 2 novembre 1895.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 14, 5 octobre 1895.

ne me paraissent pas justes. Cependant, de la discussion des extrêmes dont s'occupe mon savant contradicteur, il peut jaillir quelque clarté qui tendra à dissiper l'obscurité qui enveloppe encore cet important problème. Je répondrai donc à toutes les objections qui me sont opposées.

Commençons par quelques questions de détail auxquelles je n'ai pas voulu donner, dans mon article, un développement qui leur était peut-être dû, mais qui aurait ôté à mon travail le caractère de généralité que je voulais lui conserver. Dans mon système, le circuit doit rester constamment fermé ; on craint

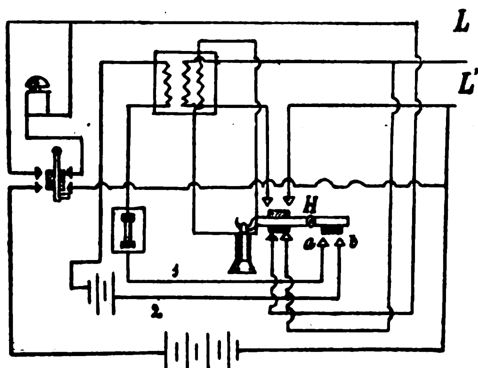


Fig. 1

donc que les piles ne s'épuisent rapidement ; il me semble que cette hypothèse est peu fondée ; pour s'en convaincre, il suffit d'examiner la figure 1 ; les fils 1 et 2 du circuit microphonique aboutissent aux contacts *a* et *b*, que le petit levier automatique H réunit lorsque le téléphone T est en service. Ce levier interrompt le circuit microphonique dans la position d'attente du téléphone. Cette disposition, que, pour plus de simplicité, on a omise, est applicable à toutes les figures de mon premier article.

M. Hess critique aussi l'emploi de condensateurs ; il ne l'aurait pas fait s'il avait lu mon article aussi attentivement qu'il veut bien le dire ; j'ai, en effet, seulement fait mention de ce procédé pour indiquer que la méthode s'applique aussi à certains cas spéciaux, tels que la téléphonie et la télégraphie simultanées, où il convient d'établir une séparation entre les différents circuits ; M. Van Rysselberghe a adopté des dispositions analogues, employant des condensateurs, qui fonctionnaient parfaitement bien, même sans avoir besoin de tambouriner sur la plaque du microphone. M. Hess pourra s'en convaincre en examinant les figures publiées il y a un certain temps déjà, par M. Mourlon, sur la théorie de ce système. Je n'ai pas réprésenté, dans les figures 4 et 5 de mon article, tous les organes ni toutes les communications qui s'y rapportent, pour ne pas donner d'importance à cette application toute incidente.

Je ne trouve pas plus fondée la critique relative au circuit d'épreuve ; il est certain qu'il est toujours préférable de vérifier les expériences sur les lignes mêmes ; on ne doit pas pour cela repousser complètement les données expérimentales fournies par un dispositif commode et économique ; c'est une première approximation qui facilite les investigations ultérieures sur le terrain même de la pratique industrielle. Si l'on rejetait ce mode de recherches, on devrait condamner aussi toutes les expériences de laboratoire, car, si bien conduites soient-elles, elles ne reproduisent jamais fidèlement et exactement les phénomènes complexes qui se produisent dans la réalité.

Mais abandonnons ces futilités ; M. Hess ne s'en est sans doute occupé que parce qu'il n'avait aucune objection sérieuse à opposer à la partie essentielle de mon procédé de téléphonie à grande distance. Examinons donc le fond de la question.

On s'étonne qu'il ne me soit pas venu, dès le début, l'idée de disposer le téléphone récepteur de telle manière que le nombre d'ampères-tours qui l'excitent soit le plus convenable par rapport aux conditions de la ligne. Je crois que cette idée est si simple qu'elle est de celles qui viennent à tout le monde ; la difficulté tient à ce que ce téléphone idéal est en pratique, impossible à construire d'une façon générale ; en effet, les organes magnétiques du téléphone doivent être logés dans un espace très réduit, et les spires de l'élec-

tro-aimant ne peuvent être beaucoup éloignées du noyau ; un accroissement exagéré du nombre d'ampères-tours ne pourrait s'obtenir qu'au détriment de la section du fil ; on arriverait ainsi à une résistance absurde, d'autant plus qu'en augmentant le nombre de tours, on augmenterait aussi la self-induction du récepteur, ce qui serait aux dépens de l'intensité du courant.

La seule objection qui ait une apparence sérieuse est la supposition faite par M. Hess, que la self-induction du récepteur s'oppose à la plus grande force magnétisante qu'on désire donner à celui-ci. Encore, cet argument ne revient-il qu'à donner une nouvelle preuve de l'excellence du système ; M. Hess admet, en effet, qu'en diminuant la self-induction du récepteur on arrive à équilibrer le nombre d'ampères-tours qui agissent sur celui-ci, en sorte qu'on obtiendrait un résultat identique à celui que donne le montage ordinaire. Il en résulte donc que par mon procédé, quand bien même on ne gagnerait rien au point de vue des phénomènes de self-induction, les avantages résultant de la diminution des effets de Joule subsisteraient encore. L'emploi des courants de haute tension permettrait de réduire les pertes en ligne à une valeur incomparablement plus faible qu'avec les basses tensions actuellement employées.

M. Hess affirme que les pertes par effet de Joule, avec un courant téléphonique, sont insignifiantes devant celles que produisent les effets de self-induction. Cette affirmation péremptoire me semble bien aventurée. Ainsi que je l'ai fait remarquer dans mon premier article, la clarté et la force de la parole transmise ne dépendent pas du nombre absolu de watts envoyés sur la ligne, mais bien de la différence d'énergie entre le maximum et le minimum de chaque ondulation du courant. Par conséquent, l'effet qui s'opposera le plus à la transmission claire de la parole sera précisément celui qui tendra à produire la plus grande déformation du courant ondulatoire et à ce point de vue, la self-induction est moins efficace que l'effet de Joule car, tandis que le premier de ces effets tend principalement à retarder les périodes ondulatoires, le second tend directement à déformer la courbe de ces ondulations en déprimant ses maxima et minima. En effet, l'énergie dépensée étant proportionnelle à RI^2, elle tend à diminuer les différences d'intensité suivant une marche très rapide, proportionnelle au carré de celles-ci.

L'erreur dans laquelle tombe M. Hess, dans son argumentation, provient de ce qu'il a

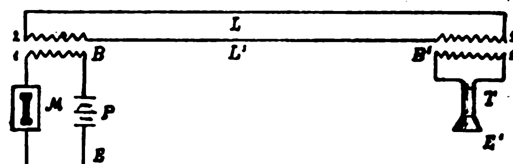


Fig. 2

oublié que le système de téléphonie par induction multiple n'est pas un moyen destiné à améliorer les conditions des appareils transmetteurs et récepteurs, mais seulement un procédé destiné à éviter, par l'emploi de courants à tension beaucoup plus élevée que ceux dont on se sert aujourd'hui, les inconvénients que présentent les lignes de grande longueur. M. Hess fait voir clairement qu'il n'a pas compris le système qu'il combat, bien qu'il affirme avoir lu mon article avec la plus grande attention; toute son argumentation est, en effet, basée sur la supposition que la tension sur la ligne, dans ce système, est le même que dans le cas ordinaire. Ainsi, dans le paragraphe où il cherche à démontrer par le calcul que le nombre d'ampères-tours qui agissent sur le téléphone est le même dans les deux cas, il suppose que le potentiel E de la ligne est le même dans les deux systèmes; mais comme mon procédé est précisément basé sur l'emploi d'une tension beaucoup plus grande, le nombre d'ampères-tours qui agissent dans le récepteur sera aussi beaucoup plus considérable. Pour le prouver, nous reprendrons le raisonnement de M. Hess. Mais. auparavant, reportons-nous à la figure 2, qui indique schématiquement la partie essentielle du procédé en question. Il est évident que le

rapport du nombre de tours des fils 1 et 2 de la bobine 2 est arbitraire ; on pourrait donc lancer sur la ligne LL', des courants de tension beaucoup plus élevée que ceux qu'on emploie actuellement ; au moyen de la bobine B, on peut les ramener à une tension plus basse, convenable pour le fonctionnement du téléphone T.

Nous avons exposé plus haut les raisons pour lesquelles on ne peut, dans la pratique, réaliser le téléphone idéal qui pourrait utiliser directement les courants de tension élevée ; nous devrons donc employer un récepteur ordinaire que nous supposerons enroulé du nombre maximum n de spires compatible avec son bon fonctionnement. Pour adopter le mode de raisonnement adopté par M. Hess, remarquons que E étant la tension de la ligne, I l'intensité du courant, et n le nombre de tours sur le téléphone, le nombre d'ampères-tours sur celui-ci serait nI, s'il était monté directement sur la ligne. Mais, au moyen de la bobine B, nous élevons la tension à une valeur nE, c'est à dire, n fois plus grande que la tension ordinairement employée avec le montage direct ; d'autre part, la bobine B réduit à nouveau cette tension à une valeur n fois moindre ; la tension qui agira sur le téléphone sera donc E, et non plus $\frac{E}{n}$, comme le suppose M. Hess. En plus, selon lui, la self-induction du téléphone s'oppose, dans le cas qu'il examine, à ce que le courant ait une intensité supérieure à $\frac{I}{n}$; mais dans le cas réel, comme la tension est égale à E au lieu de $\frac{E}{n}$, la self-induction s'opposera seulement à ce que le courant soit plus grand que I. De la sorte, en disposant convenablement la self-induction, nous parviendrons à obtenir, comme résultat final, un nombre d'ampères-tours supérieur à celui que nous obtiendrions avec un montage direct.

Je ne veux pas insister davantage sur ce point, parce que, ainsi que nous l'avons déjà vu, le principal avantage du système consiste à vaincre facilement la résistance de la ligne. Une chose m'étonne beaucoup ; c'est que la science bien connue de M. Hess se trouve, sur ce point, en contradiction avec l'opinion généralement admise et soutenue par des électriciens illustres. On sait que la loi de M. Preece établit que la transmission de la parole dépend du produit des deux facteurs : capacité et résistance de la ligne ; bien que cette loi soit aujourd'hui très discréditée, ce discrédit ne vient pas de ce que son énoncé est inexact, mais seulement de ce que M. Preece assigna à la constante que doit égaler ce produit, des valeurs trop basses ; toutefois, la loi de M. Thomson, dont la précédente se déduit, est toujours certaine.

Dans ces deux lois, la self-induction, à laquelle M. Hess paraît donner tant d'importance, n'entre pour rien. Mais si l'on adopte son opinion en ceci, même en employant des lignes de cuivre, ce qui est le plus intéressant à considérer pour les transmissions téléphoniques à grande distance, on voit que, dans ce cas, la bonne transmission de la parole dépendrait du produit de trois facteurs C,R,L, c'est à dire, capacité par résistance, par self-induction de tout le circuit, y compris le récepteur et le transmetteur. Ceci étant admis, comment conçoit-on que M. Hess puisse dire que la résistance est une quantité négligeable en comparaison de la self-induction ? Un produit ne dépend pas de la valeur relative de ses facteurs, mais bien de leur valeur absolue. Est-ce que M. Hess confondrait déplorablement un produit avec une somme ? Et au lieu du produit CRL, considérerait-il la somme $C + R + L$? Dans ce cas, la valeur de R serait négligeable devant celle de I et influerait peu sur le résultat final.

La résistance ohmique de la ligne est un des facteurs déterminants de la transmission claire de la parole ; tout système téléphonique qui atténue cet inconvénient, quand bien même ne serait-il pas avantageux par rapport à l'un quelconque des deux autres facteurs, constitue un progrès capital dans l'art des transmissions téléphoniques ; supprimer ou atténuer considérablement cette résistance

revient, en effet, à diviser le produit ci-dessus, qui détermine le coefficient de difficulté, par une quantité égale à la diminution relative de R.

Nous insisterons sur ce point, pour que M. Hess puisse se convaincre de la grande importance qu'a l'effet de Joule dans la transmission de la parole; dans ce but, nous réfuterons par un calcul l'affirmation absolument gratuite qu'il a avancée dans son article, à savoir que cet effet tend seulement à affaiblir le courant, sans pourtant déformer l'onde téléphonique qui, seule, agit efficacement sur le récepteur, comme nous l'avons expliqué.

Supposons un circuit de résistance R ; soit E la tension. L'intensité minima de l'onde sera

$$I = \frac{E}{R + r};$$

l'intensité maxima sera

$$I = \frac{E}{R - r},$$

(en appelant r l'amplitude équivalente à celle des variations occasionnés par le microphone) de manière que l'intensité efficace pour le fonctionnement du téléphone, I_{eff}, soit égale à la différence entre les deux intensités maxima et minima. On aura donc

$$I_{eff} = I_{max} - I_{min} = E\left(\frac{1}{R - r} - \frac{1}{R + r}\right).$$

Si nous considérons un autre circuit d'une résistance R + R' beaucoup plus grande que dans le premier cas, et si nous admettons que toutes les autres conditions restent les mêmes que précédemment, l'intensité efficace sera

$$I'_{eff} = I'_{max} - I'_{min} = E\left(\frac{1}{R + R' - r} - \frac{1}{R + R' + r}\right).$$

Le rapport entre les deux intensités efficaces sera donc

$$\frac{I_{eff}}{I'_{eff}} = \frac{\frac{1}{R - r} - \frac{1}{R + r}}{\frac{1}{R + R' - r} - \frac{1}{R + R' + r}}.$$

D'après M. Hess, ce rapport devrait être égal à l'unité. Or, il suffit d'examiner le second membre pour se convaincre qu'il n'en est pas ainsi, car r étant très petit par rapport à R', la différence des deux termes du dénominateur sera bien moindre que celle des deux termes du numérateur ; par conséquent, l'intensité efficace du courant, dans le second cas, sera bien moindre que dans le premier cas.

L'importance de la diminution de résistance pour la transmission de la parole à grande distance ne réside pas seulement dans la diminution des effets de Joule, mais encore dans l'atténuation des inconvénients de cet autre facteur perturbateur, la capacité de la ligne. En employant des courants de haute tension, il est possible de diminuer la section des fils de ligne, et comme la capacité électrostatique de celle-ci est donnée par la formule

$$K = \frac{l}{2(\log 4h - \log d)},$$

dans laquelle l représente la longueur de la ligne, h sa hauteur au dessus du sol, et d le diamètre du fil conducteur, il est évident que la capacité sera d'autant moindre que le diamètre sera plus petit. Nous négligerons ici la question économique résultant de la diminution du prix de revient de la ligne ; elle serait suffisante pourtant pour recommander le système, puisqu'on pourrait effectuer la transmission dans des conditions aussi favorables, avec des fils beaucoup plus tenus.

Passons maintenant à un autre point qui se rattache indirectement au système attaqué. M. Hess dit qu'il ne comprend pas pourquoi j'ai doté d'un aimant permanent la bobine d'induction destinée à la réalisation de ce système. Vraiment, il n'est pas possible d'attribuer cette déclaration à la grande attention avec laquelle il a lu mon article ; dans ce cas, il aurait remarqué que lui-même, dans sa réplique, donne le motif qui m'a guidé, quand il déclare que, des expériences de M. Piérard, on déduit que le rendement des bobines actuelles est de seulement 50 p. 100. C'est dans le but d'élever ce rendement que j'ai eu l'idée de doter le noyau de la bobine d'une certaine aimantation initiale, en lui ajou-

tant un aimant permanent. Le motif est facile à comprendre ; on sait, en effet, que la courbe d'intensité d'aimantation en fonction de la force magnétisante se sépare très peu de l'axe des ordonnées pour de petites valeurs de cette dernière et prend des valeurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que la force magnétisante s'élève ; elle devient ensuite parallèle à l'axe des x et atteint le point de saturation. Pour obtenir un bon rendement, il convient donc de n'opérer jamais avec des valeurs extrêmes de cette force magnétisante, et il existera une valeur moyenne qui sera la plus convenable pour chaque cas. C'est la seule raison pourquoi les bobines d'induction actuelles ont un si mauvais rendement, tandis que les transformateurs industriels ont des rendements qui peuvent atteindre et dépasser 95 p. 100. Cependant, les bobines d'induction sont de petits transformateurs et les résultats restent les mêmes, si l'on donne aux deux appareils les mêmes formes, avec des dimensions homologues.

On pourrait s'étendre davantage sur le système téléphonique à induction multiple ; mais, toutes les objections de M. Hess étant réfutées, je m'arrêterai là.

Je ne terminerai pas, cependant, sans lui adresser mes plus sincères remerciements pour son article qui a, grâce à sa signature autorisée, fixé l'attention du public sur mon modeste travail, qui, peut être, dans des mains plus expertes que les miennes, pourra être un jour de quelque utilité pour résoudre l'important problème de la téléphonie à grande distance.

Claudio Baradat.

LES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES DE M. BARADAT

Les appréciations que nous avons émises il y a quelque temps [1] au sujet des perfectionnements en téléphonie proposés par M. C. Baradat [1] nous attirent de la part de leur auteur le long essai de réfutation qu'on vient de lire et qui n'est malheureusement pas fait pour nous éclairer davantage sur l'efficacité des moyens qu'il propose.

A notre critique relative au montage en circuit continuellement fermé de la pile et du microphone, l'auteur répond aujourd'hui que, ne voulant pas compliquer l'exposé de son système principal (emploi de deux bobines d'induction embrochées sur la ligne, l'une à la transmission, l'autre à la réception) il ne

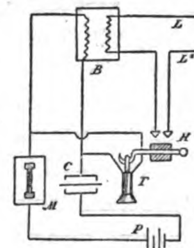


Fig. 3.

s'était pas attaché aux détails de montage. Comme les figures de son article donnent au contraire les montages des postes dans tous leurs détails jusqu'aux contacts du crochet commutateur, il aurait été plus simple de représenter dès le début des montages capables de fonctionner, comme celui de la figure rectificative (voir fig. 1) que l'auteur nous communique maintenant.

Dans le but de justifier l'emploi de condensateurs dans ses montages, M. Baradat cite l'autorité de Van Rysselberghe ; nous ne voyons pas quel rapport il peut y avoir entre cette citation et les modes d'emploi donnés par lui comme exemples, et, en particulier, nous persistons à ne pas comprendre comment la disposition représentée par la figure 3 (fig. 4 de son article) pourrait fonctionner en transmetteur, à moins qu'il ne s'agisse là encore que d'un schéma symbolique et « sans importance »,

Pour ne pas avoir trouvé sa ligne artificielle adéquate aux besoins de la téléphonie

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 198 ; 2 novembre 1895.

[1] *Éclairage Électrique*, t. IV, p. 14 ; 5 octobre 1895.

expérimentale, l'auteur nous reproche de rejeter en bloc toutes les expériences de laboratoire. Autant que lui nous sommes convaincus de leur utilité, à la condition toutefois d'employer des outils plus sérieux que sa disposition d'appareils, qui n'a avec les conditions d'une ligne téléphonique qu'une vague ressemblance.

Enfin, l'auteur veut augmenter le rendement de la bobine d'induction en la dotant d'un circuit magnétique fermé par des aimants permanents de façon à se trouver toujours dans la partie moyenne de la courbe d'aimantation. Dans son premier article, il avait dit que ses « bobines d'induction seraient à circuit magnétique fermé, afin d'augmenter les effets produits pour une variation donnée et, par conséquent, la sensibilité. »

M. Baradat pousse beaucoup trop loin l'assimilation d'une bobine d'induction téléphonique à un transformateur de station centrale. Outre que la grandeur et la diversité des fréquences simultanées d'un courant téléphonique introduisent des conditions totalement différentes de celles d'un courant alternatif de fréquence basse et unique, il entre dans le cas de la bobine d'induction une question d'un tout autre ordre. Ce n'est pas le cas d'un courant alternatif primaire induisant un courant alternatif secondaire qu'il faut considérer ici, mais bien celui d'un courant primaire toujours de même sens et intermittent ou variable d'intensité induisant un courant secondaire alternatif. Or, dans ce cas la forme du noyau magnétique influe beaucoup sur la variation totale de l'induction produite par une variation de champ donnée. Un barreau droit poussé à la même induction qu'un circuit de fer entièrement fermé, présente, en effet, après la suppression de la force magnétomotrice, une aimantation résiduelle beaucoup moindre que ce dernier, et cela, grâce à l'action démagnétisante que les pôles exercent sur le barreau. La variation totale de l'induction est donc plus grande qu'elle ne le serait avec un circuit magnétique fermé. Aussi a-t-on toujours, et avec raison, construit les bobines d'induction à courants intermittents avec des noyaux de fer non fermés, et les essais faits avec des bobines téléphoniques à anneau de fer n'ont-ils pas donné de résultats satisfaisants.

Mais faisons abstraction de ces questions accessoires, que M. Baradat tient d'ailleurs pour futiles, et arrivons au point principal que l'auteur défend à grand renfort d'algèbre. En passant, nous avions fait remarquer qu'un téléphone embroché au bout de la ligne et soumis à la tension E, y produisant un courant I, ne serait, une fois placé dans le secondaire à f. é. m. $\frac{E}{n}$ d'une bobine d'induction dont le primaire aurait pris sa place primitive, traversé que par un courant ne dépassant pas $\frac{I}{n}$. A cela, l'auteur répond qu'en partant d'une tension n E, on arriverait à une intensité I. Cette argumentation renchérissant sur la nôtre, nous n'avons qu'à nous incliner.

Mais le principe dont l'application doit, suivant M. Baradat, amener un progrès essentiel en téléphonie à grande distance, c'est l'emploi de hautes tensions afin de réduire au minimum la perte en ligne.

Nous avions à ce propos appuyé sur les points suivants. La résistance ohmique de la ligne n'a pour effet que d'affaiblir le courant, sans toutefois modifier la forme des ondes téléphoniques. La perte ohmique, si elle n'est pas sans influence sur la distance de transmission pratiquement possible, est donc secondaire par rapport aux deux autres facteurs, la capacité et la self-induction, dont l'action nuisible est due surtout à ce que les modifications qu'ils font subir aux composantes de l'onde complexe *diffèrent* selon la fréquence de celles-ci. Ce n'est pas *parce que* ces ondulations sont décalées et affaiblies que la transmission manque de *clarté* (non d'intensité), mais c'est parce qu'elles sont décalées *les unes par rapport aux autres* (ce qui brouille leur succession) et affaiblies dans des rapports *différents* (altération du timbre). En un mot, nous avons voulu insister sur ce fait qu'en té-

léphonie la question de la conservation de la forme des actions prime celle de la quantité d'énergie mise en jeu.

M. Baradat nous trouve en cela bien « aventuré » et nous répond par les prétendues objections suivantes :

« La clarté et la force de la parole transmise ne dépendent pas du nombre absolu de watts envoyés sur la ligne, mais bien de la différence d'énergie entre le maximum et le minimum de chaque ondulation du courant. Par conséquent, l'effet qui s'opposera le plus à la transmission claire de la parole sera précisément celui qui tendra à produire la plus grande déformation du courant ondulatoire, et à ce point de vue, la self-induction est moins efficace que l'effet Joule ; car tandis que le premier de ces effets tend principalement à retarder les périodes ondulatoires, le second tend directement à déformer la courbe de ces ondulations en déprimant ses maxima et minima. En effet, l'énergie dépensée étant proportionnelle à $R I^2$, elle tend à diminuer les différences d'intensité suivant une marche très rapide proportionnelle au carré de celles-ci. »

Il règne évidemment dans l'esprit de M. Baradat une regrettable confusion quant à la puissance d'un courant et à sa forme. Nous aurons néanmoins la patience de chercher à débrouiller cet écheveau. Dès sa première phrase, et en employant un de nos arguments, qu'il étend d'ailleurs jusqu'à la « force » de la transmission, c'est à dire trop loin, l'auteur détruit tous ses raisonnements. Si le nombre de watts transmis n'importe pas, pourquoi tant se soucier de la perte en ligne ? La réponse est donnée dans la seconde partie du passage : c'est parce que l'effet Joule déforme le courant. Or, cette affirmation que jusqu'à nouvel ordre nous tiendrons pour absolument erronée, l'auteur la base toute entière sur une loi dont l'énoncé dans sa dernière phrase nous laisse incapable d'insister.

Peut-être pourra-t-on trouver l'origine de son erreur dans le passage suivant qui, selon l'auteur, doit forcément nous convaincre :

« Supposons un circuit de résistance R ; soit E tension. L'intensité minima de l'onde sera $I = \frac{E}{R+r}$; l'intensité maxima sera $I = \frac{E}{R-r}$ (en appelant r l'amplitude équivalente à celle des variations occasionnées par le microphone), de manière que l'intensité efficace I_{eff} pour le fonctionnement du téléphone soit égale à la différence entre les deux intensités maxima et minima. On aura donc :

$$I_{eff} = I_{max} - I_{min} = E\left(\frac{1}{R-r} - \frac{1}{R+r}\right).$$

« Si nous considérons un autre circuit d'une résistance $R + R'$ beaucoup plus grande que dans le premier cas, et si nous admettons que toutes les autres conditions restent les mêmes que précédemment, l'intensité efficace sera :

$$I'_{eff} = I'_{max} - I'_{min} = E\left(\frac{1}{R+R'-r} - \frac{1}{R+R'-r}\right).$$

Le rapport entre les deux intensités efficaces sera donc :

$$I_{eff} = \frac{1}{R-r} - \frac{1}{R+r}, \quad I_{eff} = \frac{1}{R+R'-r} - \frac{1}{R+R'+r}$$

D'après M. Hess, ce rapport devrait être égal à l'unité. Or, il suffit d'examiner le second membre pour se convaincre qu'il n'en est pas ainsi, car r étant très petit par rapport à R', la différence des deux termes du dénominateur sera bien moindre que celle des deux termes du numérateur ; par conséquent, l'intensité efficace du courant, dans le second cas, sera bien moindre que dans le premier cas. »

Abstraction faite de l'emploi abusif du terme intensité « efficace », l'auteur confond évidemment le rôle amortisseur que joue la résistance additionnelle dans le circuit microphonique, avec celui tout différent de la résistance de la ligne, et c'est bien gratuitement qu'il nous attribue une grossière erreur de calcul dans un raisonnement dont nous n'avons pas dit le premier mot dans notre article.

Enfin, comme nous avons fait allusion à l'influence non négligeable de la self-induction de la ligne et des appareils, M. Baradat

nous oppose la règle de Preece; mais pour les besoins de sa cause, il multiplie tout simplement le produit CR par la self-induction, et considère le produit CRL comme devant indiquer la qualité de transmission de la parole sur une ligne donnée. Ce procédé de calcul serait on ne peut plus élégant; malheureusement, la réalité est moins simple, et l'auteur pourrait, en étudiant les travaux de M. Vaschy, se convaincre de l'expression compliquée que prendrait son « coefficient de difficulté » s'il voulait tenir compte d'une façon plus exacte de l'intervention simultanée de C, de R et de L.

Nous ne pouvons, sans abuser de l'attention du lecteur, nous étendre plus longuement sur ce sujet, et, si nous avons cru devoir répondre à M. Baradat, c'est en grande partie par crainte que les louanges qu'il nous décerne au milieu de ses critiques parussent par trop nous toucher.

A. Hess.

THÉORIE DE L'ÉLECTRICITÉ

FONDÉE UNIQUEMENT SUR L'EXPÉRIENCE ET LE RAISONNEMENT (¹)

II. *Sources chimiques et thermiques d'énergie électrique.* — L'expérience montre dans un circuit conducteur, de résistance R, les variations suivantes d'énergie dues au courant I supposé permanent:

1° Un gain de chaleur égal à RI^2 par unité de temps (loi de Joule);

2° A chaque soudure ou électrode, un gain spécial (positif ou négatif) de chaleur égal à $-E'I$, le coefficient E' dépendant de l'état physique de la soudure ou électrode (loi de l'effet Peltier);

3° Dans chaque partie du circuit qui n'est pas à température uniforme, un gain spécial (positif ou négatif) de chaleur égal à $-E''I$, E'' dépendant de la nature du conducteur et de la variation de température (loi de l'effet Kelvin);

4° A chaque électrode un gain (positif ou négatif) d'énergie chimique (évalué au moyen des *chaleurs de combinaison*), égal à $-E'''I$, E''' dépendant de la nature de la réaction chimique.

En vertu du principe de la conservation de l'énergie, la somme de ces gains d'énergie est nulle; il en résulte:

$$RI = \Sigma E' + \Sigma E'' + \Sigma E''' = E.$$

C'est la loi d'Ohm. $E'\,E''\,E'''$ sont appelés *forces électromotrices* des soudures, électrodes, etc, E est la force électromotrice totale du circuit.

Chaque gain positif de chaleur ou d'énergie chimique provient de la transformation *sur place* d'une quantité équivalente d'énergie électrique, celle-ci étant réparée elle même au fur et à mesure par un apport d'énergie de l'extérieur. Chaque gain négatif correspond, au contraire, à une transformation de chaleur ou d'énergie chimique en énergie électrique, qui est transmise au fur et à mesure, à travers le champ électrique, aux régions où a lieu la transformation inverse.

Le mode de transformation d'une énergie en une autre nous échappe entièrement. Mais on peut chercher suivant quelle loi l'énergie se transmet à travers le champ. Ce problème est la recherche d'un *flux d'énergie électrique* jouant un role analogue à celui du *flux de chaleur*.

12. *Loi de transmission de l'énergie dans un champ électrique stable. Champ des réactions du courant.* — La permanence d'un courant, que tend constamment à détruire la dissipation calorifique de l'énergie électrique, se maintient grâce à l'énergie réparatrice que fournissent les sources et que les réactions développées dans le champ dirigent vers le circuit conducteur. L'état complet de ce champ est donc caractérisé non seulement par son intensité h, mais encore par les *réactions du courant*.

Le flux d'énergie électrique cherché ϖ en un point M ne doit évidemment dépendre que de l'état du champ en ce point. En outre, il

(¹) Voir l'*Éclairage Électrique*, du 4 avril, p. 25.

doit être tel que l'apport w_1 d'énergie électrique qu'il crée dans l'unité de volume en M ait la valeur définie par la formule (17). Enfin on démontre que le flux d'énergie glisse le long des surfaces équipotentielles, c'est à dire est perpendiculaire à l'intensité h. En déterminant par ces conditions le flux $\overline{w}$, on est conduit à définir un nouveau vecteur h' comme il suit.

Les composantes X' Y' Z' de ce vecteur h' sont liées à celles de l'apport d'induction électrique $\bar{i}$ par les équations :

$$4\pi i_x = \frac{\partial Y'}{\partial z} - \frac{\partial Z'}{\partial y} \quad 4\pi i_y = \frac{\partial Z'}{\partial x} - \frac{\partial X'}{\partial z} \quad 4\pi i_z = \frac{\partial X'}{\partial y} - \frac{\partial Y'}{\partial x} \qquad (19)$$

semblables aux équations (4) du § 4 ; c'est à dire que *la densité $\bar{\mu}'$ de masse vectorielle du champ du vecteur h'*, définie comme la densité $\bar{\mu}$ de masse vectorielle du champ du vecteur h au § 4, *est identique à l'apport d'induction électrique $\bar{i}$*. La donnée du vecteur h' en tout point du champ entraîne donc celle du vecteur $\bar{i}$, qui, dans le cas étudié d'un courant permanent, se confond avec la densité du courant (§ 10). Cette donnée de h' caractérise la réaction du courant en tout point de l'espace ; car *le flux d'énergie calculé $\overline{w}$ est perpendiculaire aux vecteurs $\bar{h}$ et $\bar{h}'$ et a pour grandeur le produit de $\frac{1}{4\pi}$ par l'aire du parallélogramme construit sur ces vecteurs comme côtés* :

$$4\pi w = h\,h' \sin(\overline{h, h'}). \qquad (20)$$

On donnera au vecteur h' le nom d'*intensité du champ des réactions du courant*.

On peut ajouter aux équations (19) la condition :

$$\frac{\partial X'}{\partial x} + \frac{\partial Y'}{\partial y} + \frac{\partial Z'}{\partial z} = 4\pi\rho', \qquad (21)$$

pour déterminer complètement h', car les équations (19) sont insuffisantes pour cela. La fonction ρ' est la *densité de masse du champ du vecteur h'* ; nous verrons au § 13 que ρ' est nul.

13. *Champ magnétique du courant.* — Un petit aimant, employé pour explorer un champ magnétique quelconque créé par des aimants ou des courants, sert à définir très simplement l'*intensité $\bar{h}'$ de ce champ* en grandeur et en direction aux divers points. En explorant par ce procédé le champ magnétique d'un courant permanent (expérience de Biot et Savart), on constate : 1° que *la densité de masse vectorielle magnétique de ce champ*, définie comme la densité de masse vectorielle électrique au § 4 et rapportée à une unité convenable, *est identique à la densité du courant* (propriété indépendante de la nature des corps) ; 2° que *la densité de masse magnétique est nulle*. Le *champ magnétique du courant est donc identique au champ des réactions du courant* défini par les équations (19) et (21) du § 12, où l'on doit faire ; $\rho' = 0$.

Appliquons l'identité (2) du § 4 au calcul de l'intensité h' du champ magnétique d'un courant. Elle se réduit à :

$$\bar{h}' = \sum \frac{\overline{m_r \sin\theta}}{r^2},$$

ou, comme les masses vectorielles magnétiques m sont les éléments de courant I ds du circuit

$$\bar{h}' = \sum \frac{\overline{I\,ds \sin\theta}}{r^2}.$$

On reconnaît dans cette formule la loi fondamentale de l'électromagnétisme due à Laplace.

14. *Champ magnétique des aimants.* — On peut explorer et connaître le champ magnétique créé par un aimant à l'extérieur, mais non à l'intérieur de cet aimant. De là, une ignorance forcée qui permet de faire sur l'état du champ intérieur mille hypothèses *que l'expérience ne saurait ni infirmer, ni confirmer*. Par exemple, on peut supposer que dans l'aimant il existe un potentiel magnétique (même définition qu'en électricité au § 3) et, par suite, qu'il n'y a pas de masses vectorielles magnétiques ; il n'y aurait alors que des masses magnétiques, ce qui est l'hypothèse de Coulomb. On peut, au contraire, imaginer qu'il n'y a que des masses vectorielles magnétiques, ce qui est l'hypothèse d'Ampère, pour qui ces masses vectorielles étaient des

courants. Le *principe de l'équivalence des courants et des aimants* n'est autre chose que la constatation évidente de l'équivalence de ces masses de Coulomb et de ces courants d'Ampère au point de vue des actions extérieures à l'aimant.

Rien n'empêche donc d'attribuer aux aimants, pour simplifier les calculs, une simple distribution de masses magnétiques telles que le champ créé à l'extérieur par ces masses soit identique au champ réellement existant.

Dans l'étude expérimentale des actions réciproques des aimants intervient la notion du *pouvoir inducteur* (ou perméabilité) *magnétique* k' des corps, qui a sensiblement la même valeur pour tous ceux-ci (réserve faite pour le fer, le nickel, le cobalt...).

15. *Forces et énergie magnétiques.* — Le calcul des forces et de l'énergie magnétiques se fait comme celui des forces et de l'énergie électriques (§ 7 et 8).

La force magnétique p' sur l'unité de surface orientée d'une manière quelconque, en un point M d'un champ magnétique, est définie par la même règle que la force électrique p au § 7 (fig. 3, formule 10), et l'on a :

$$p' = \frac{k' h'^2}{8\pi}.$$

La force magnétique F' par unité de volume a aussi même expression que la force électrique F. Elle est décomposable à volonté en forces dites magnétiques, électromagnétiques et électrodynamiques ; on décompose même sans peine celles-ci en forces élémentaires, qui sont censées s'exercer à distance, suivant les lois de Coulomb (actions réciproques de masses magnétiques), de Laplace (actions de masses sur masses vectorielles, et réciproques) et d'Ampère (actions réciproques de masses vectorielles).

L'énergie magnétique w' par unité de volume a pour expression :

$$w' = \frac{k' h'^2}{8\pi} = p'.$$

L'énergie magnétique ne se dissipe point en chaleur comme l'énergie électrique ; elle se maintient indéfiniment et sans déperdition dans tous les corps : air, eau, cuivre, etc. On doit réserver toutefois le cas du fer, du nickel, du cobalt. Du reste, la théorie s'applique très mal à ces derniers corps, que l'on écarte avec le plus grand soin des expériences de précision, et dont les propriétés ne sont guère définies jusqu'ici que par des lois empiriques.

16. *Lois de l'état variable du champ électromagnétique.* — On a vu (§ 12 et 13) que *la densité de masse vectorielle magnétique* $\bar{\mu}'$ *est égale à l'apport d'induction électrique* i : $\bar{\mu}' = \bar{i}$.

Par analogie avec la formule (16) du vecteur $\bar{i}$:

$$\bar{i} = c\bar{h} + \frac{k}{4\pi}\frac{\overline{\partial h}}{\partial t}, \qquad (22)$$

posons :

$$\bar{i}' = \frac{k'}{4\pi}\frac{\overline{\partial h'}}{\partial t}, \qquad (23)$$

et appelons $\bar{i}'$ *apport d'induction magnétique.*

En appliquant le principe de la conservation de l'énergie aux variations d'un champ électromagnétique quelconque, on démontre que l'*apport d'induction magnétique* i' *est égal et de signe contraire à la densité* μ *de masse vectorielle électrique :* $\bar{i}' = -\bar{\mu}$.

Les deux équations très simples :

$$\bar{i} = \bar{\mu}' \qquad \bar{i}' = -\bar{\mu}, \qquad (24)$$

constituent les lois de l'état variable du champ électromagnétique. Supposons en effet l'état du champ à l'époque t_0 connu par la donnée des vecteurs $\bar{h}$ et $\bar{h}'$, qui permet de calculer en outre $\bar{\mu}$ et $\bar{\mu}'$. Les formules (24) donnent alors les vecteurs $\bar{i}$ et $\bar{i}'$, et les formules (22) et (23), où l'on connaît $\bar{i}$, $\bar{i}'$ et $\bar{h}$, font connaître $\frac{\overline{dh}}{dt}$ et $\frac{\overline{dh'}}{dt}$. On sait donc calculer $\left(\bar{h} + \frac{\overline{dh}}{dt}dt\right)$ et $\left(\bar{h}' + \frac{\overline{dh'}}{dt}dt\right)$, c'est à dire le nouvel état du champ à l'époque $(t_0 + dt)$ et, par suite, à une époque ultérieure t quelconque.

La transformation des équations (24), en coordonnées cartésiennes donne six équations aux dérivées partielles en X Y Z, X' Y' Z', qui sont celles de la théorie de Maxwell.

L'existence, dans les formules (24), des densités de masse vectorielle électrique $\overline{\mu}$ et magnétique $\overline{\mu'}$ indique, en vertu des définitions mêmes de ces densités, que *le champ n'admet ni potentiel électrique, ni potentiel magnétique*. Mais précisons davantage le rôle de ces masses vectorielles.

Dans la théorie des actions instantanées à distance, une masse vectorielle *électrique* crée à chaque instant un champ *électrique dans l'espace indéfini* (§ 4), et les masses vectorielles magnétiques jouent un rôle analogue.

D'après les lois (24), au contraire, l'existence de la densité μ de masse vectorielle *électrique* en un point M, à l'époque t, est une cause *locale* d'instabilité du champ *magnétique* en ce point ; l'effet précis de cette cause $\overline{\mu}$ est de faire varier, entre les époques t et $t + dt$, l'induction magnétique $\left(\frac{\overline{k'h'}}{4\pi}\right)$ d'une quantité $(\overline{i}\, dt)$ égale à $-\overline{\mu}dt$. — De même la densité $\overline{\mu'}$ de masse vectorielle *magnétique* est une cause d'instabilité du champ *électrique*, dont l'effet est de faire varier l'induction électrique $\left(\frac{\overline{kh}}{4\pi}\right)$ d'une quantité égale à $+\overline{\mu'}dt$.

Il est essentiel de rappeler qu'il existe une autre cause, également *locale*, de variation de l'induction électrique $\frac{\overline{kh}}{4\pi}$; c'est la *conductibilité* du milieu (§ 10). La formule (22), écrite sous la forme :

$$\overline{\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{kh}{4\pi}\right)}\, dt = \overline{\mu'}\, dt - c\overline{h}\, dt,$$

montre que la *densité du courant* $c\overline{h}$ fait varier l'induction d'une quantité égale à $-c\overline{h}dt$ pendant le temps dt.

De la deuxième équation (24) on déduit la *loi fondamentale des phénomènes dits d'induction électromagnétique*, que l'on énonce ainsi :

La force électromotrice E induite dans un circuit fermé C est égale à la diminution, par unité de temps, du flux d'induction magnétique Q à travers un feuillet limité au contour C :

$$E = -\frac{dQ}{dt}.$$

On présente ordinairement cette loi à un point de vue inexact, en supposant une *force électromotrice induite* (ou créée) à chaque instant par les variations du champ magnétique. Or E n'est autre chose que l'intégrale $\int h\, ds \cos(\overline{h, ds})$ prise le long du circuit C. Si, à l'époque t, E est différent de zéro, cela veut dire qu'il n'y a pas de potentiel électrique, et c'est là, nous l'avons vu, une cause de perturbation du champ magnétique. En d'autres termes, *contrairement aux idées généralement admises*, l'existence, à l'époque t, de la *force électromotrice* E dans le circuit C entraîne, entre les époques t et $t + dt$, une diminution $-dQ$, égale à $E\,dt$, du flux d'induction magnétique Q à travers le feuillet de contour C.

A. Vaschy,
Ingénieur des Télégraphes.

L'EXPOSITION
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE [1]

Pour beaucoup de visiteurs, le carbure de calcium et l'acétylène formaient le principal attrait de l'Exposition. Commençons donc par ce sujet.

Nous avons déjà dit que la rampe à gaz de la porte d'entrée et le lustre du vestibule, installés par M. Trouvé, étaient alimentés par l'acétylène et produisaient un fort bel éclairage.

Dans le bas de l'escalier, on remarquait l'appareil de M. Bullier pour la production continue de l'acétylène, appareil qui a été décrit tout récemment dans ce journal par M. Jacquin [2] ; dans la petite salle du premier étage, M. Bullier exposait également un magnifique bloc de carbure de calcium ainsi qu'un récipient à acétylène liquide.

Dans cette dernière salle se trouvaient l'exposition de M. Trouvé et celle de M. Lequeux.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 11 avril 1896.
[2] *L'Éclairage Électrique* du 4 avril, p. 12 et 13.

M. Trouvé exposait de nombreux modèles d'appareils portatifs dont nos lecteurs trouveront le principe dans l'article de M. Jacquin ([3]). M. Lequeux présentait deux gazomètres, construits par la maison Wiesneg, dont l'un à production continue. Ce dernier se compose d'un gazomètre ordinaire et d'un

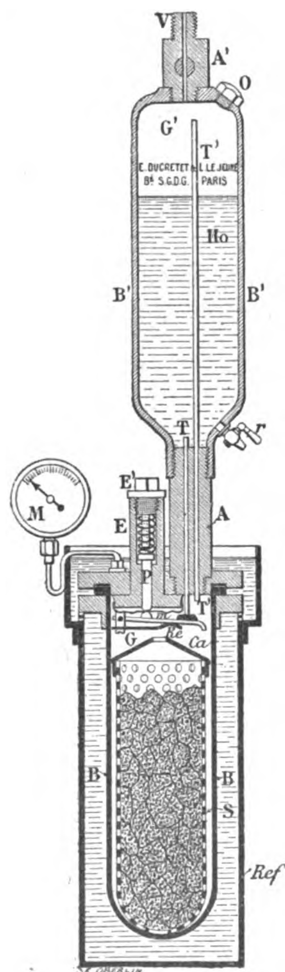


Fig. 1. — Appareil Ducretet et Lejeune pour la préparation de l'acétylène comprimé ou liquéfié.

appareil générateur ; celui-ci est constitué par un cylindre vertical portant une large tubulure latérale inclinée, servant à l'introduction du carbure de calcium ; un tube fait communiquer la partie supérieure du cylindre générateur avec le gazomètre. Pour faire fonctionner cet appareil, on met dans le générateur une quantité d'eau suffisante pour que son niveau dépasse l'ouverture de la tubulure et l'on introduit peu à peu par celle-ci le carbure de calcium ; ce carbure réagit sur l'eau en donnant de l'acétylène, qui se rend dans le gazomètre, et de la chaux qui tombe au fond du générateur dans un panier métallique ; quand on juge que ce dernier est rempli, on le retire par la partie supérieure

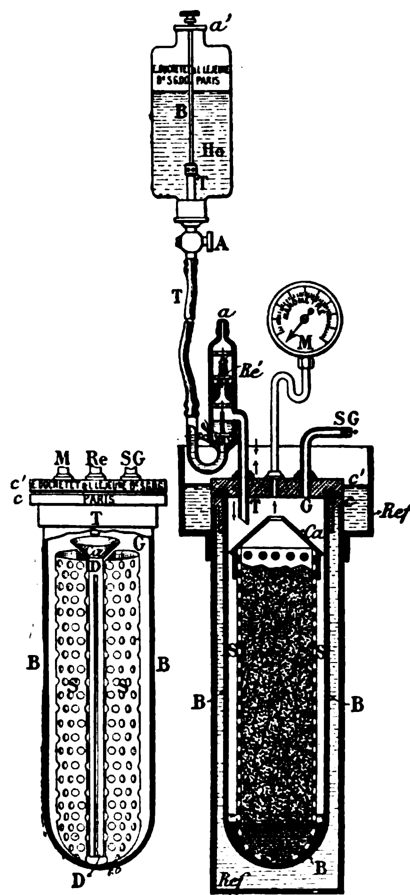


Fig. 2. — Appareil Ducretet et Lejeune pour la préparation de l'acétylène sous pression réduite.

du cylindre générateur qui est normalement fermée par un couvercle à double fermeture hydraulique, maintenu par un joint à bayonnette. Cet appareil est évidemment très commode pour le remplissage du gazomètre.

M. Ducretet et Lejeune exposaient dans la grande salle leurs nouveaux appareils pour la production continue de l'acétylène, appa-

([3]) *L'Éclairage Électrique* du 4 avril, p. 11 et 12.

reils qui n'ont pu être décrits dans l'article de M. Jacquin, leur construction n'étant pas suffisamment avancée au moment de la rédaction de cet article.

La figure 1 représente une coupe schématique de l'appareil industriel. B et B' sont deux récipients métalliques contenant, le premier, le carbure de calcium, placé dans un panier métallique perforé, le second, l'eau destinée à réagir sur ce dernier corps. Cette eau, que l'on introduit par l'ouverture O fermée par un bouchon à vis, s'écoule par le tube T. Le gaz produit passe de G en G' par le tube T' et se rend à une dessicateur à chlorure de calcium, puis aux appareils d'utilisation, par un tuyau vissé en V ; un robinet A' règle l'écoulement du gaz : un robinet *r* permet de se rendre compte si le récipient B' contient de l'eau. L'écoulement de cette eau s'effectue sous l'influence de la pression résultant de son poids, la pression du gaz étant la même en G et G' ; il est réglé par un régulateur R*e* formé d'un levier, d'un ressort et d'une membrane *m* dont une face est en contact avec l'air atmosphérique ; quand la pression de l'acétylène a acquis une certaine valeur, la membrane se déforme, le levier se soulève sous l'action du ressort et un obturateur placé à l'extrémité du levier vient fermer l'extrémité du tube T ; quand la pression diminue l'inverse se produit et l'eau tombe de nouveau sur le carbure ; un robinet placé en A permet d'ailleurs de régler à la main l'écoulement de l'eau.

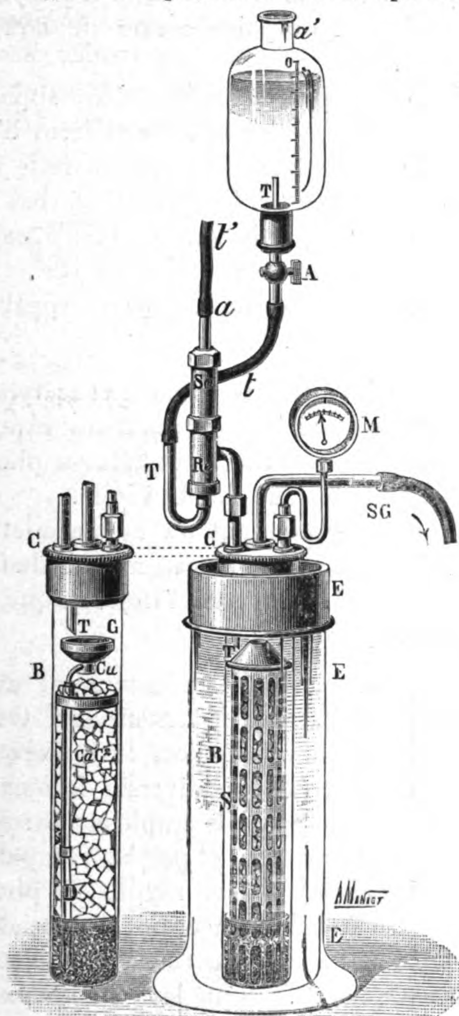


Fig. 3 — Appareil automatique de laboratoire pour les essais de réception du carbure de calcium.

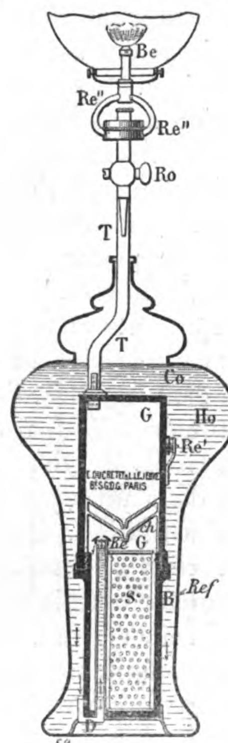


Fig. 4.— Lampe portative à acétylène Ducretet et Lejeune.

Cette eau tombe sur le couvercle conique C*a*, descend le long des parois de B et réagit sur le carbure situé à la partie inférieure du

panier ; de cette façon, l'attaque du carbure se fait de bas en haut et n'est pas entravée par la formation de la chaux qui tombe au fond de B par les trous du panier.

Un manomètre M indique la pression et une soupape de sûreté E' laisse le gaz s'échapper quand la pression devient trop grande. Le récipient B, auquel le couvercle est fixé par un joint hermétique, est placé dans un récipient Ref dans lequel on fait circuler un courant d'eau froide.

Cet appareil est principalement destiné au remplissage direct des réservoirs à acétylène comprimé, que l'on peut substituer au gaz riche pour l'éclairage des wagons, des phares, des bouées et balises. Il peut également servir à la fabrication de l'acétylène liquéfié, en ayant soin d'abaisser suffisamment la température du récipient où se rend le gaz. Si l'on veut se servir directement du gaz pour l'éclairage, il suffit de placer un réducteur de pression à la sortie du réservoir B.

La figure 2 représente un appareil donnant de l'acétylène sous une plus faible pression. L'eau contenue dans le réservoir Ho s'écoule par le tube T, soulève la soupape Re et tombe sur le couvercle Ca. L'acétylène produit passe par le tube S G dans un gazomètre et de là aux appareils d'utilisation. Quand on ferme les robinets de ceux-ci, l'acétylène produit remplit le gazomètre dont la cloche se soulève jusqu'à ce qu'elle arrive à bout de course, où elle se trouve maintenue par un taquet. La pression du gaz augmente alors et la soupape Re se ferme. A cause de l'eau encore contenue dans le récipient B la pression continue à augmenter pendant quelque temps et si elle devient trop considérable le gaz s'échappe par l'ouverture *a* après avoir soulevé la soupape de sûreté Re. L'appareil peut supporter une pression de 15 atmosphères.

Sur la gauche de la figure on a représenté une modification de la disposition du réservoir B. L'eau tombe dans l'entonnoir Ca, puis dans un tube central D fendu sur toute sa longueur.

La figure 3 représente un appareil de laboratoire ne différant du précédent que par les dimensions, qui sont plus petites, et par l'emploi d'un réservoir B en verre. En reliant le tube à un compteur on peut se servir de l'appareil pour déterminer le volume d'acétylène que peut donner un poids connu de carbure de calcium.

La figure 4 donne la coupe d'un appareil portatif. En Re se trouve le régulateur d'arrivée de l'eau ; comme dans les appareils précédents l'eau attaque le carbure de bas en haut. Une soupape de sûreté est placée en Re' ; un réducteur de pression en Re''.

Le fonctionnement de ces divers appareils est très satisfaisant.

Pour terminer ce qui est relatif à l'acétylène, signalons les appareils producteurs exposés par M. Maurice de Thierry et l'étalon photométrique à l'acétylène de M. Violle.

Comme se rapprochant du même sujet signalons également le nouveau modèle du four électrique de M. Ducretet et Lejeune que représente la figure 5.

Les rayons Roentgen présentaient aussi pour beaucoup l'attrait de la nouveauté. Outre de nombreuses radiographies, on remarquait les tubes de Crookes de diverses formes de M. Chabaud, les appareils employés par MM. Benoît et Hurmuzescu et par M. Gouy dans leurs recherches sur ces rayons, le photomètre de M. Meslins, et enfin les appareils exposés par la maison Ducretet et Lejeune.

Nous avons déjà indiqué les principaux résultats des expériences de MM. Benoît et Hurmuzescu [1]. Celles de M. Gouy portent sur la pénétration des gaz dans les parois des tubes de Crookes [2].

Le photomètre de M. Meslins se compose d'un tube coudé à angle droit dans la coudure duquel se trouve disposée une feuille enduite de platinocyanure de baryum et inclinée à 45° sur les directions des axes de chaque portion du tube.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 308, 318 et 415.

[2] *Comptes-Rendus*, t. CXXII, p. 775, 30 mars 1896. Voir plus loin page 135.

L'une des extrémités du tube est fermée par une lame de carton et une lame de verre violet occupant chacune la moitié de l'ouverture; devant la première se trouve la source des rayons X à étudier, devant la seconde la source lumineuse servant de comparaison ; derrière se trouvent deux diaphragmes à volets permettant de diminuer la grandeur des faisceaux de rayons qui tombent sur le platinocyanure de baryum ; on modifie les surfaces des ouvertures des diaphragmes jusqu'à ce que la fluorescence du platinocyanure paraisse uniforme.

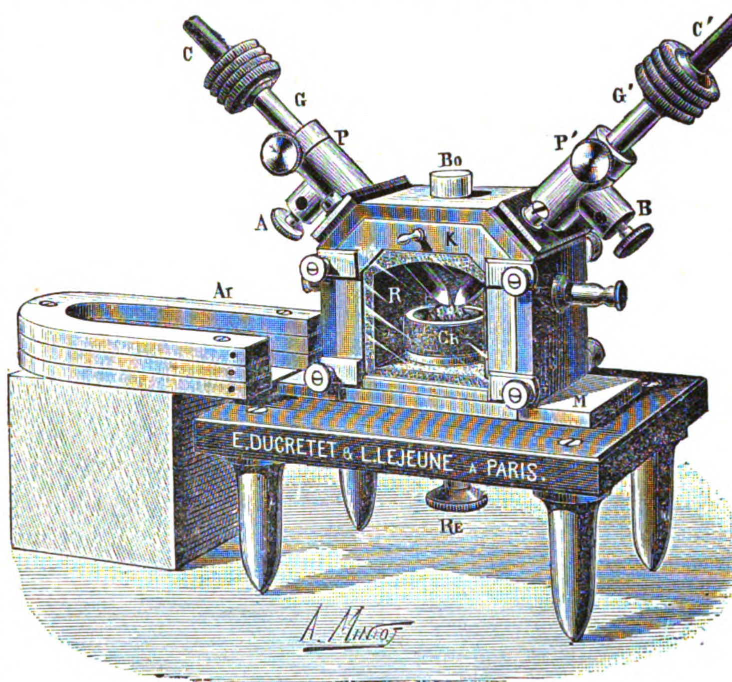


Fig. 5.

Parmi les appareils exposés par MM. Ducretet et Lejeune signalons celui que représente la figure 6. Au dessous du tube de Crookes D se trouve un diaphragme D qui permet, d'après les observations de MM. Imbert et Bertin Sans d'avoir des images plus nettes. Les rayons émis par la cathode sont déviés par un aimant de manière à venir frapper les parois du tube situées au dessus du diaphragme.

La maison Gaiffe et C[ie] exposait diverses applications des courants de haute fréquence.

Nous retrouvons l'appareil classique du D[r] d'Arsonval qui sert à produir les oscillations électriques et qui comprend, comme on le sait, une bobine d'induction, une double capacité, un solénoïde et un déchargeur.

Il convient de signaler ici une modification importante apportée au trembleur de la bobine. Tous ceux qui se sont servis de grosses bobines savent combien il est difficile de faire fonctionner d'une manière continue un trembleur rapide avec contacts en platine.

Ce trembleur spécial employé jusqu'ici par M. Gaiffe pour les bobines de haute fréquence exigeait encore des règlages et des changements de contacts assez fréquents. Pour obvier à ces inconvénients, M. d'Arsonval a eu l'idée de donner un déplacement relatif aux platines, dans leur plan, de manière à renouveler sans cesse les points en contacts et à faciliter la séparation des contacts.

Cette idée a été réalisée en donnant au platine qui est fixe habituellement, un mouvement continu de rotation au moyen d'un petit moteur électrique actionné par la même source que la bobine. Dans ces conditions, l'usure des platines se fait d'une manière absolument régulière ; les collages sont entièrement évités et les effets de haute fréquence sont en général augmentés et toujours plus réguliers.

On remarquait également deux appareils de mesure : Un galvanomètre thermique qui sert à mesurer des intensités moyennes de 50 à 200 milliampères ou des volts moyens de 10 à 40 volts et, un ampèremètre pour oscillations de haute fréquence.

Ce dernier appareil permet de mesurer des intensités beaucoup plus élevées que le premier, et il n'offre pas de résistance ohmique

appréciable, ce qui est précieux pour certaines expériences.

L'appareil exposé était gradué de 0,8 à 2,2 ampères; il peut être intercalé directement dans le circuit d'un solénoïde d'auto-conduction ou d'un petit solénoïde pour applications directes.

Cet appareil très simple est basé sur la répulsion mutuelle des courants induits et inducteurs, et se compose d'un petit anneau en aluminium suspendu par un fil fin en argent au centre d'un solénoïde composé d'une dizaine de spires. Une aiguille indique les déviations de l'anneau qui tend à se mettre à angle droit sur les spires du solénoïde. L'aiguille sert en même temps d'amortisseur. On montre facilement que les déviations sont indépendantes de la fréquence, dès que celle-ci dépasse une certaine limite, et même indépendante de la nature du métal dont est constitué l'anneau.

Mais l'appareil qui excitait le plus vivement l'attention des visiteurs était le résonateur du Dr Oudin. — Il est fondé sur ce fait que si on relie à une extrémité du solénoïde de haute fréquence S (fig 7) un autre solénoïde comprenant une grande longueur de fil, et qu'on règle cette longueur ou celle du solénoïde primaire, on observe à un moment donné la production de belles aigrettes à la partie supérieure du solénoïde libre, ce qui indique une élévation considérable du potentiel.

En approchant la main, on peut en tirer des étincelles de plusieurs centimètres de longueur. On constate de plus, en se servant du galvanomètre thermique comme liaison entre les deux solénoïdes, que la circulation est maximum à ce moment, (de 100 à 300 milliampères avec les appareils en question). Dans ces conditions, il y a résonance entre les deux circuits, c'est à dire que le premier excite dans le deuxième une oscillation de même période.

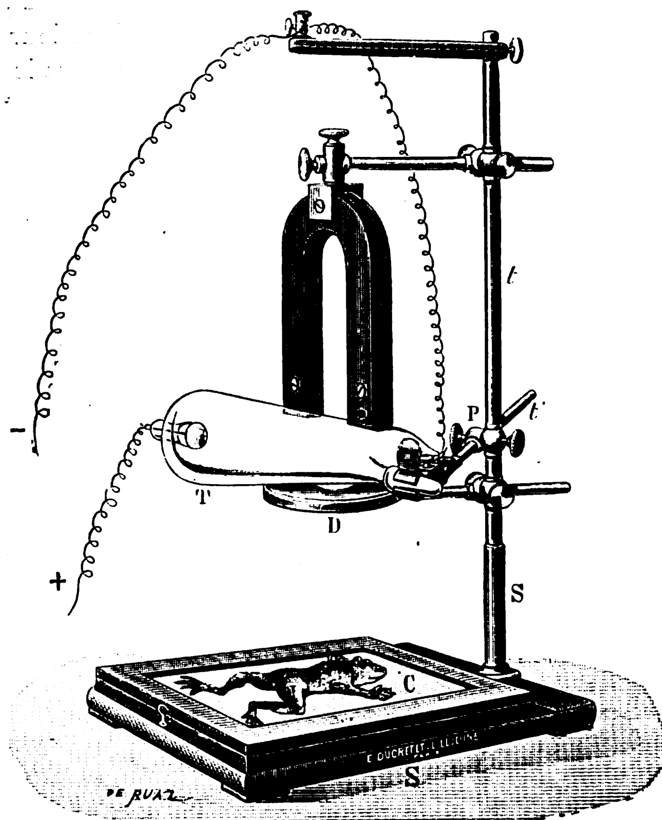


Fig. 6.— Appareil à diaphragme pour l'obtention des radiographies.

Cette résonance peut s'obtenir dans des conditions très différentes, à condition de varier le solénoïde primaire, ce qu'on obtient en mettant en court circuit une partie de ses spires par une glissière intérieure. On a pu faire résonner ainsi, soit un petit solénoïde comprenant environ 30 m de fil fin en spires très serrées, soit une cage servant à l'autoconduction et comprenant environ 60 m de gros fil.

Avec un de ces résonateurs, on peut obtenir une grande partie des effets obtenus par Tesla avec ses transformateurs à huile (fig. 8): illumination de tubes à vides dans le champ électro-statique, allumage de lampes par induction, etc. On a pu également obtenir de cette manière l'illumination des tubes de

Crookes pour la photographie par les rayons Roentgen, en reliant une électrode au bout libre du solénoïde. Cet appareil, établi sous une forme pratique permet, au moyen d'une électrode spéciale, d'obtenir sur la peau une effluve particulière, point douloureuse, mais très active qui a donné à M. le Dr Oudin d'excellents résultats dans le traitement de l'eczéma.

Ajoutons que dans l'électro-diagnostic, on a besoin de pouvoir faire des lectures rapides des volts aux électrodes ou du courant qui passe dans une application de courte durée. Pour faciliter ces opérations, M. Gaiffe a combiné une nouvelle série d'appareils genre d'Arsonval à grand amortissement et à indications sensiblement proportionnelles. Ils sont caractérisés par un très petit cadre mobile dans un champ magnétique puissant.

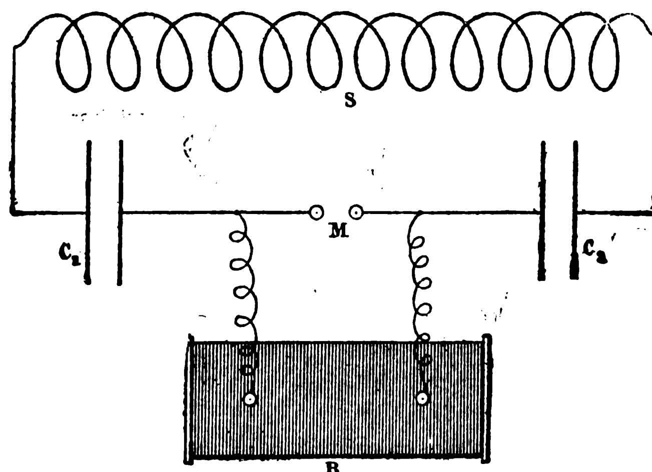


Fig. 7. — Disposition pour l'obtention des courants de haute fréquence.

Outre ces appareils de mesure et le perméamètre de M. Helmer qui a été décrit dans notre dernier numéro, on pouvait voir à l'exposition : le wattmètre universel de MM. Blondel et Labour auquel sera consacrée prochainement une description spéciale ; un théodolite magnétique et une boussole d'inclinaison de M. Secrétan ; les nombreux appareils enregistreurs de M. Jules Richard ; les appareils de mesures industrielles de MM. Chauvin et Chauvin ; enfin un nouveau type de compteur Grassot exposé par MM. Ducretet et Lejeune.

Les voltmètres, ampèremètres et wattmètres enregistreurs de M. Jules Richard sont trop connus de nos lecteurs pour que nous y insistions. Toutefois l'exposition de ce constructeur présentait plusieurs nouveautés sur lesquelles nous reviendrons prochainement : un voltmètre enregistreur pour plusieurs régimes (3 à 150 volts) ; un thermomètre enregistreur électrique à distance n'exigeant que l'emploi de deux fils entre le transmetteur et le récepteur ; enfin un enregistreur magnétique de niveau d'eau de chaudière.

Les voltmètres et ampèremètres apériodiques de diverses sensibilités construits par MM. Chauvin et Arnoux sont également bien connus de tous les industriels et ont fait l'objet, l'an dernier, de deux communications à la Société internationale des Electriciens et à la Société de Physique ; nous y renvoyons le lecteur (1). Les figures 9 et 10 en représentent d'ailleurs les parties essentielles ; l'aimant annulaire produisant le champ magnétique et l'équipage mobile qui se déplace dans ce champ quand un courant le traverse ; la figure 11 montre une caisse contenant un voltmètre et un ampèremètre, ainsi que leurs shunts de sensibilité, et permettant des mesures de forces électromotrices et d'intensités jusqu'à 600 volts et 100 ampères.

La figure 12 représente une caisse portative des mêmes constructeurs contenant un galvanomètre à miroir, les shunts et l'échelle de cet instrument, un pont de Wheatstone et un pont double de Thomson. Sur le côté de la boîte se trouvent trois paires de bornes permettant d'établir les connexions de ma-

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 42 et p. 566 ; 6 avril et 22 juin 1895.

nière à mesurer soit des forces électromotrices comprises entre 0 et 300 volts, soit des intensités de 0 à 300 ampères, soit enfin des résistances comprises entre 10 megohms et 0,000 01 ohm.

Le galvanomètre à miroir de cette boîte a subi tout récemment des perfectionnements qui en font un instrument d'une très haute précision. Dans les nouveaux modèles exposés, la pièce d'acier placée au milieu du cadre mobile et destinée à former le champ magnétique produit par le gros aimant que l'on voit

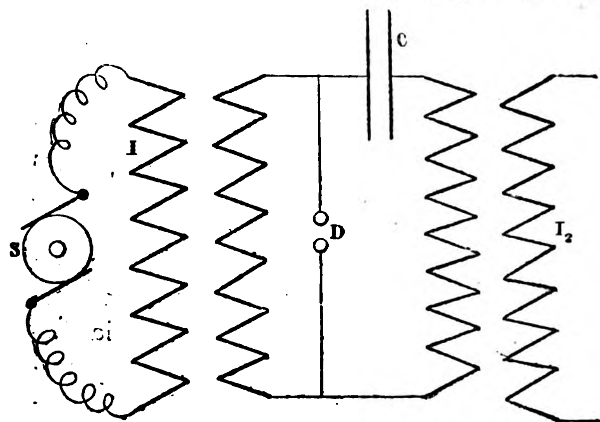
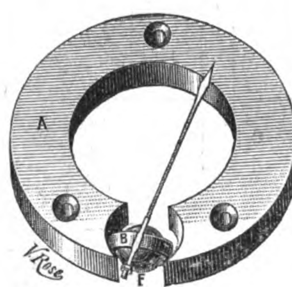


Fig. 8. — Dispositif Tesla.

sur la figure, a une forme parallélipipédique telle que l'angle de déviation du cadre ne soit pas proportionnel à l'intensité du courant, mais que la déviation lue sur l'échelle rectiligne placée devant le miroir soit proportionnelle à cette intensité. En outre, l'instrument est suspendu par une suspension à la Cardan qui lui permet de se placer toujours dans une position verticale et de conserver ainsi la même sensibilité. La constante galvanométrique est 0,000 000 08 par division ; la résistance du cadre étant de 125 ohms à 15° C, une déviation d'une division correspond à une différence de potentiel de 0,000 01 de volt.

Comme instruments récents, on trouvait encore : un voltmètre enregistreur à sensibilité variable, un ohmètre portatif, un potentiomètre, un voltmètre compoundé et un voltmètre-ohmètre.

Le voltmètre enregistreur, qui n'est autre qu'un voltmètre apériodique ordinaire dont l'aiguille inscrit ses déplacements sur un cylindre tournant placé au-dessous, présente cette particularité que la plume, ordinairement employée pour l'inscription, y est remplacée par une molette. Celle-ci est constituée par deux petites calottes de laiton entre les bords desquelles se trouve serrée un disque de papier buvard ; la calotte supérieure est surmontée d'un petit réservoir cylindrique contenant de l'encre qui vient, au moyen de deux trous percés dans la calotte, imbiber le papier buvard ; l'ensemble tourne autour d'un axe dirigé suivant l'aiguille et dont les



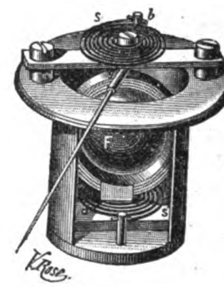


Fig. 9. — Système magnétique des voltmètres et ampèremètres apériodiques Chauvin et Arnoux.
Fig. 10. — Equipage mobile

pointes s'appuient sur une sorte d'étrier porté par cette aiguille. La molette tourne quand l'aiguille se déplace et le frottement de la molette contre le cylindre d'inscription est extrêmement faible et laisse à l'appareil une très grande sensibilité.

L'ohmètre portatif est un pont de Wheatstone dont deux des branches, que nous désignerons par A B et B C, sont constituées par les deux portions d'un fil le long duquel se meut un contact glissant B ; la troisième est constituée par plusieurs bobines de résistance reliées à des plots sur lesquels glisse un contact D ; la quatrième est formée de la résistance à mesurer. Un galvanomètre est intercalé entre B et D. Le tout est enfermé dans une boîte sur le couvercle de laquelle se trouvent la manette du contact B qui glisse sur une règle dont les divisions indiquent le rapport des résistances A B et B C, le contact D, l'aiguille du galvanomètre et quatre bornes

servant à attacher les extrémités de la résistance à mesurer et les pôles d'une pile intercalée entre A et B. Quand la position des contacts est telle que le galvanomètre ne dévie pas quand on ferme son circuit, il suffit de multiplier la résistance inscrite sur le plot où se trouve le contact D par le nombre lu sur la règle à l'endroit où se trouve le contact B pour avoir immédiatement la résistance cherchée ; la mesure de celle-ci est donc des plus simples.

Le potentiomètre est également très simple. A l'intérieur d'une boîte se trouve un circuit très résistant mis en relation par deux bornes extérieures avec un élément Latimer Clark. Le long de ce circuit glisse un contact dont la manette se déplace devant une règle placée sur le couvercle. Ce contact est relié à un point du circuit principal par un circuit secondaire comprenant un galvanomètre et la source dont on veut la force électromotrice. On fait mouvoir la manette jusqu'à ce que le galvanomètre ne dévie plus, et on lit sur la règle la force électromotrice cherchée, la graduation ayant pu être faite à l'avance, l'élément Latimer Clark ne se polarisant pas quand on ne lui demande qu'un très faible courant. Cet appareil convient très bien pour la mesure rapide des forces électromotices thermo-électriques.

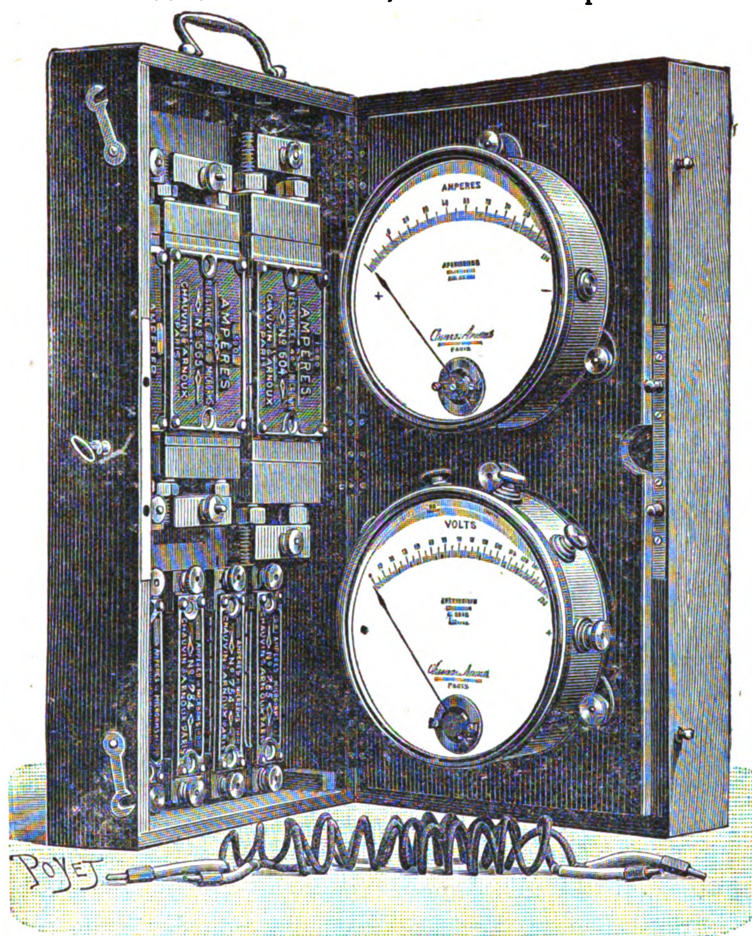


Fig. 11.— Caisse contenant un voltmètre et un ampèremètre Chauvin et Arnoux, ainsi que leurs shunts de sensibilité.

Quand au voltmètre compoundé il est destiné à donner, sans avoir recours à des fils pilotes, la différence de potentiel qui existe entre deux points d'une canalisation situés à une distance plus ou moins grande de l'endroit où est installé l'appareil. Dans ce but l'instrument porte deux enroulements dont l'un est mis en dérivation entre le conducteur d'aller et le conducteur de retour et dont l'autre est relié à deux points de l'un seulement desconducteurs. Le premier enroulement fait dévier l'aiguille proportionnellement à la différence de potentiel entre les conducteurs, le second la fait dévier proportionnellement à l'intensité du courant. Ces deux enroulements étant de sens inverse l'aiguille dévie d'autant moins, pour une même différence de potentiel, que l'intensité est plus grande Comme la perte en ligne augmente en même temps que l'intensité, la différence de potentiel en deux points éloignés diminue. Le déplacement de l'aiguille se fait donc dans le même sens que la variation de la différence de potentiel en ces points et l'on conçoit que l'on puisse graduer l'appareil de manière à indiquer par une simple lecture cette dernière quantité.

Le voltmètre-ohmètre est destiné à donner une indication continue de l'état d'isolation d'un circuit. C'est un voltmètre ordinaire mis en communication d'une part avec le conducteur sur lequel on expérimente et d'autre part avec la terre. L'aiguille dévie plus ou moins suivant que l'isolement est plus ou moins mauvais et une graduation placée sur le cadran, en plus de la graduation en volts, fait connaître la valeur de l'isolement.

Quant au compteur Grassot, construit par la maison Ducretet et Lejeune il a déjà été décrit dans nos colonnes (¹) et les perfectionnements de détail dont il a été l'objet ont eu seulement pour résultat d'en rendre le fonctionnement plus parfait. La figure 13 indique le schéma des connexions du compteur à la canalisation ; le courant dérivé en $JrcJ'$ provoque la dissolution de la partie inférieure du fil d'argent af et ce fil en descendant fait tourner une aiguille ia devant un cadran C gradué en ampères.

Comme sources d'électricité, nous n'avons à signaler, outre la dynamo Cail Helmer et la dynamo Rechniewsky que nous avons mentionnées dans notre dernier numéro, qu'une petite dynamo de M. Cadiot et une machine électrique statique d'Armstrong exposée par MM. Ducretet et Lejeune. La vapeur, fournie par un autoclave, arrive par A' (fig. 14) dans un tube entouré d'un manchon Re à circulation d'eau froide de Pa à a, puis sort mélangée de gouttelettes par l'orifice en buis J et vient rencontrer le peigne P.

Les moteurs électriques étaient également très peu nombreux. M. Cadiot en exposait deux petits actionnant, l'un un foret, l'autre un ventilateur d'appartement. L'exposition de M. Doignon, plus complète sous ce rapport, comprenait une série de petits moteurs de différentes puissances de 1 à 15 kgm et donnant, d'après les expériences faites au laboratoire central d'électricité, un rendement d'au moins 60 pour 100, rendement très satisfaisant pour des puissances aussi faibles. Ce dernier constructeur exposait en outre un relai télégraphique, système Willot, pour la transmission rapide par câbles sous-marins, que nous ne faisons que signaler, une description complète devant en être donnée très prochainement.

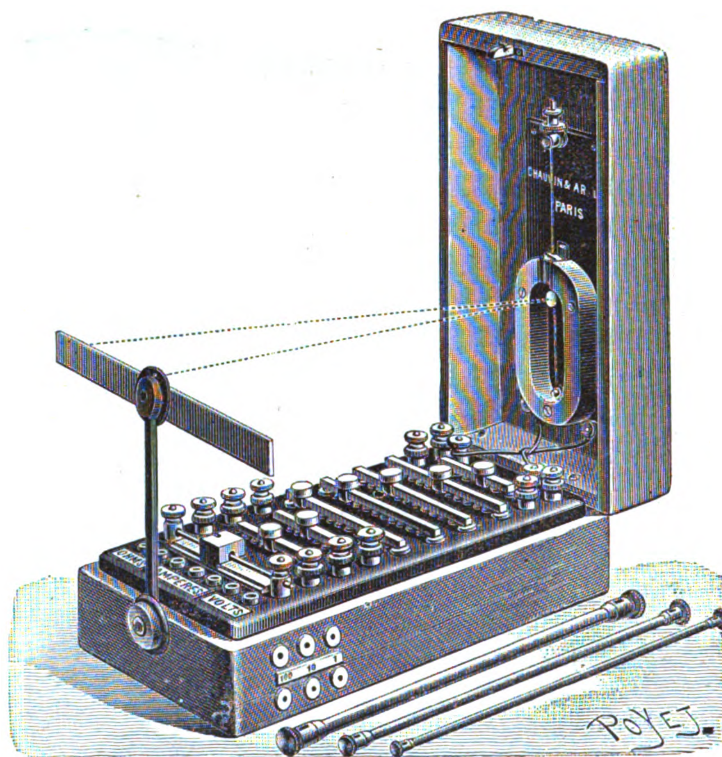


Fig. 12.— Caisses portatives Chauvin et Arnoux.

Parmi les applications de l'électricité nous avons encore remarqué le sonomètre entretenu électriquement de M. Guerre, qui permet de réaliser beaucoup plus facilement qu'avec le sonomètre ordinaire les expériences classiques d'acoustique. Le système électrique est d'ailleurs celui qu'on emploie généralement pour entretenir les vibrations des diapasons. L'application de ce système à la mise en vi-

(¹) *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 123.

bration des timbres est montrée par la figure 15. L'électroaimant A communique avec la

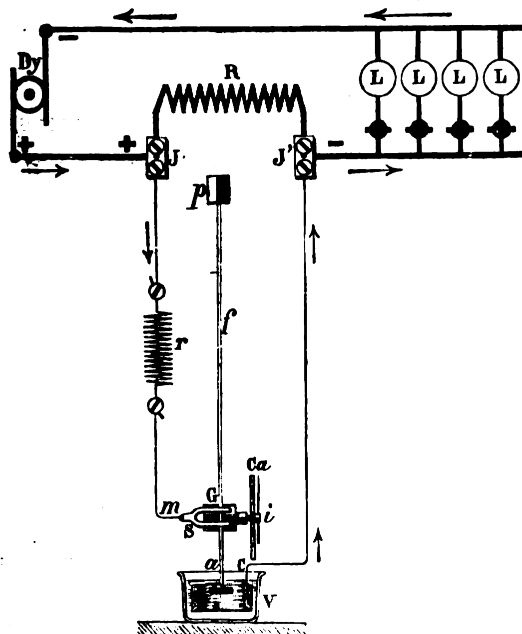


Fig. 13.— Compteur Grassot de la maison Ducretet et Lejeune.

pile, d'une part directement et, d'autre part, par le timbre, le fil de platine P et le conducteur C porté par un support isolant réglable. Quand le timbre est en repos le fil appuie sur sa surface et, si l'électroaimant est mis en action celui-ci déforme le timbre et rompt ainsi le contact.

M. Larousse exposait un appareil thermo-électrique, construit par M. Torchebeuf, et permettant de répéter très simplement les expériences d'Ampère. L'équipage mobile est constitué par un fil de laiton deux fois recourbé à angle droit qui forme trois des côtés d'un rectangle dont le côté inférieur est formé moitié par un barreau de laiton, moitié par un barreau de maillechort soudés en bout. Le cadre est suspendu par un fil et la soudure est chauffée par un bec Bunsen. Il se produit dans l'équipage un courant thermoélectrique suffisamment intense pour que le cadre s'oriente perpendiculairement au méridien magnétique et pour qu'il soit dévié par un cadre relié aux pôles d'un petit élément à bichromate. Des solénoïdes mobiles et des cadres astatiques sont basés sur le même principe. L'ensemble forme un appareil de démonstration très robuste, toujours prêt à fonctionner en quelques minutes et qui est destiné à rendre des services dans les établissements d'enseignement.

Dans le même ordre d'idées mentionnons la collection de modèles d'enseignement de l'électricité, de MM. Digeon. Parmi les spécimens exposés citons : coupe d'inducteur et d'induit de la machine Gramme (type d'atelier) ; construction du noyau de la machine Gramme ; machine magnéto, etc.

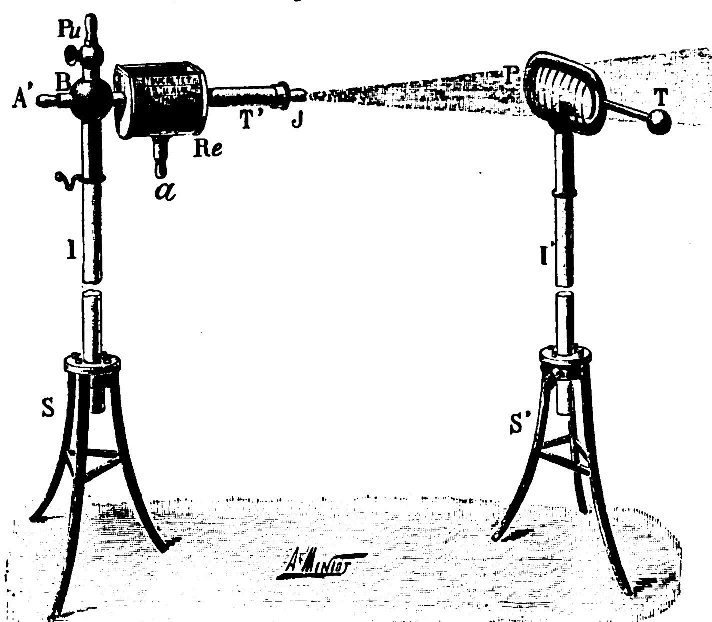


Fig. 14.— Machine hydro-électrique d'Amstrong.

Le professeur Silvanus P. Thomson exposait une série d'appareils intéressants parmi lesquels des miroirs magiques et un appareil fort simple pour mettre en évidence les effets des courants de Foucault. Ce dernier appareil se compose d'un aimant en fer à cheval mobile autour d'un axe horizontal

et maintenu lui-même horizontalement par un contrepoids ; entre les branches de l'aimant peut monter et descendre une lame de cuivre ; quand on met celle-ci en mouvement l'aimant oscille.

Mentionnons encore un nouveau dispositif de l'endiomètre de Bunsen du frère Higismond ; l'appareil qui a servi tout récemment à M Hurmuzescu pour la mesure de v ; le planimètre de Prytz, présenté par M. Hospi-

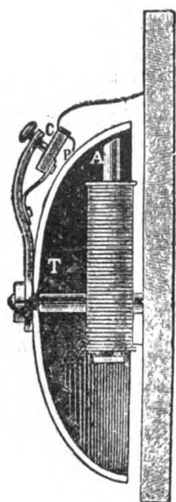


Fig. 15.— Disposition de M. Guerre pour entretenir les vibrations des timbres.

talier ; celui de Pétersen, présenté par M. Lamotte ; les disques de magnétite cristallisée, de M. P. Wess, montrant l'aimantation non isotrope de cette substance par leur orientation dans un champ magnétique, etc.

Comme tous les ans, les séances de Pâques de la Société de Physique se sont terminées par une visite à une usine des environs de Paris. L'an dernier nous étions conviés à visiter les ateliers Weyer et Richmond où les électriciens pouvaient voir une transmission d'énergie assez importante par courants polyphasés. Cette année, nous étions invités à visiter l'usine de chocolat de MM. Menier, à Noisiel-sur-Marne. De nombreux visiteurs ont répondu à cette invitation, et certainement tous ont été enchantés de cette visite, dirigée par M. Menier avec une très grande courtoisie et un constant souci de ne pas faire manquer à ses hôtes le train devant les ramener à Paris. Outre l'intérêt général que présente toujours une usine aussi importante que celle de Noisiel, qui occupe environ 1 500 ouvriers ou ouvrières, pour la plupart logés dans une cité ouvrière attenant à l'usine et remarquable par ses conditions d'hygiène, les électriciens y trouvaient cet intérêt particulier de pouvoir examiner l'une des premières installations faites en France, d'un transport d'énergie par courants biphasée. Cette installation ayant été décrite en détail par notre collaborateur M. Boucherot dans les derniers numéros de la *Lumière Electrique* (19 et 26 mai 1894), nous renvoyons à ces articles les lecteurs désireux de se remémorer les appareils qu'ils ont vus dans cette visite.

J. Blondin.

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Service de nuit automatique des bureaux centraux téléphoniques, par H. Zielinski (1).

La Société Mix et Genest a adopté quelques dispositions d'appareils qui permettent aux abonnés de se mettre eux-mêmes automatiquement, pendant les heures du service de nuit, en communication avec certaines lignes désignées d'avance, par exemple, avec un autre abonné ou avec un poste de police ou de pompiers. A cet effet, ces communications sont préparées au bureau à l'aide de fiches réunies métalliquement ou de commutateurs dont la manette a été placée sur le contact convenable.

1. — Lorsque le bureau comporte des commutateurs simples (standards), on emploie le montage représenté par la figure 1.

Sur la paroi antérieure p du tableau, portant un annonciateur M, est fixé, sur une lamelle isolante, un ressort f appuyé, à l'état de repos, sur un contact r. Ce contact est réuni par la ligne l_1 à la terre E_1 commune à tous les annonciateurs du bureau. Quand le

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 5 mars 1896.

volet K_1 tombe, l'onglet qu'il porte presse le ressort *f* sur un autre contact *a*, lequel est relié à une ligne commune l_1, conduisant au ressort supérieur 1 d'un jack k_0, dont le con-

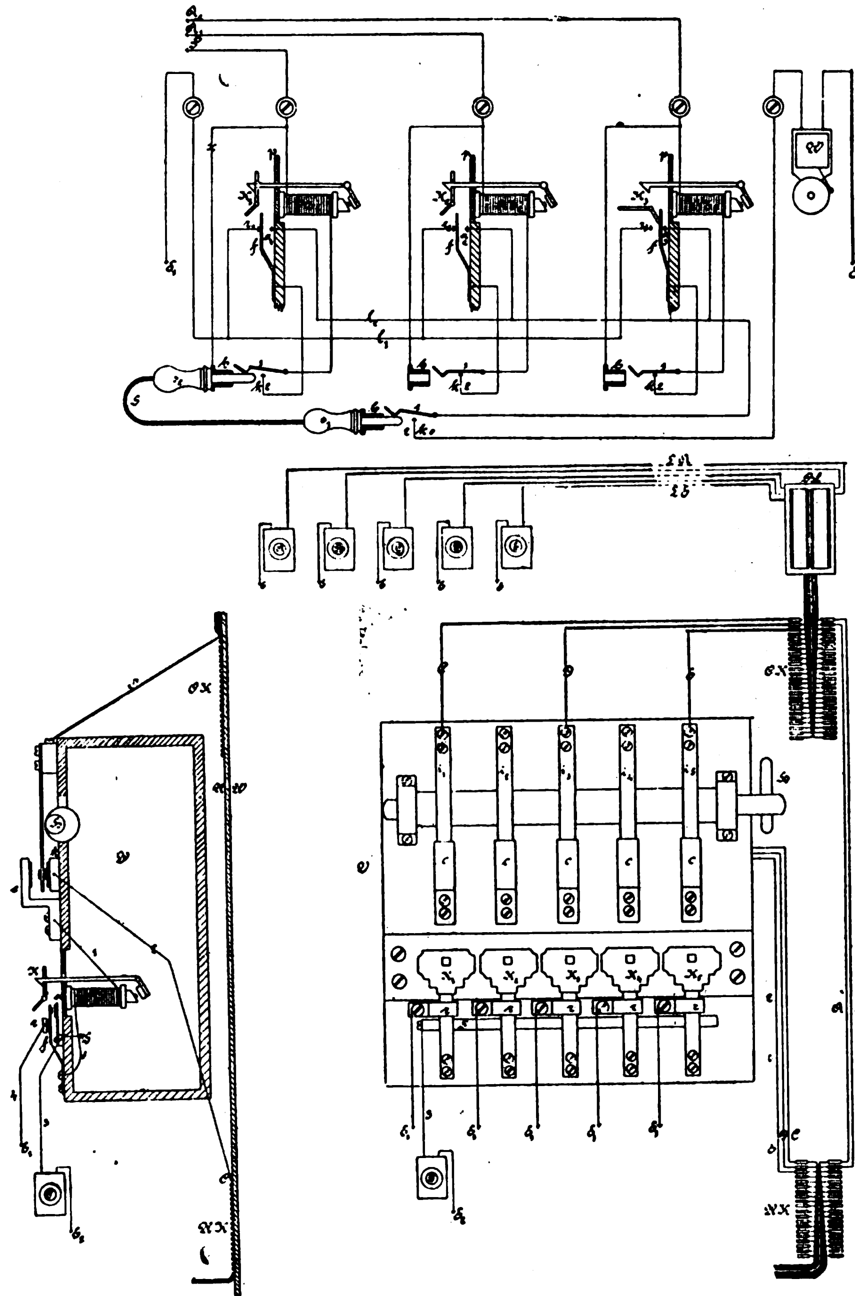


Fig. 1, 2 et 3.

tact inférieur 2 communique avec une sonnerie W et la terre E_1.

Pendant la journée, le jack k_0 est libre, et un courant arrivant au bureau passe par l'électro, M le jack *k*, le ressort *f*, le contact *r* à la terre E_1. Le volet étant tombé, le courant passe par $M k_1$ $k_1 f$ et *a* au jack k_0 et à la terre E_1.

Si, après le service de jour, les abonnés doivent être reliés au poste de police ou de pompiers, on relie le jack k_0 par une corde S à deux fiches à la ligne affectée à ce poste. Un courant d'arrivée passe alors comme précé-

demment par l'électro M, le jack k, le ressort f et le contact r à la terre E_1. Mais la chute du volet, comme en K_3 ouvre au courant: un autre chemin ; il passe alors par f, a_3, k_0, les fiches s'_1 et s_2 au jack k ; atteint l'électro M de l'annonciateur K_1 et finalement la ligne du poste où l'appel doit se produire. Si la fiche s'_2 est formée d'une partie entièrement métallique, de façon que la douille h soit également en communication avec la corde, l'électro M de l'annonciateur K_1 se trouve mis en court circuit, et le courant passe directement de la douille h au fil x conduisant à la ligne.

On peut de la même façon préparer la communication de tout un groupe d'abonnés avec telle ligne voulue, en disposant pour chaque groupe un jack k_0 avec liaison correspondante l_2.

2. — Si ces communications n'intéressent qu'une petite partie du nombre d'abonnés, comme c'est le cas dans un grand bureau à commutateur multiple, on atteint le même résultat en employant le dispositif suivant (fig. 2 et 3).

La figure 3 montre 5 postes d'abonnés A à E reliés au bureau par les lignes LA à LE. Entre les séries de bornes OK et UK du répartiteur du bureau est introduit le dispositif en question. Toutes les lignes des abonnés qui désirent pouvoir correspondre avec les postes de police ou autres passent par ces appareils intermédiaires, que la figure 2 représente pour les abonnés C, D et E, tandis que les abonnés A et B sont reliés directement au commutateur.

La figure 2 montre le dispositif installé sur la paroi du commutateur.

Chaque ligne conduit de OK à une lame

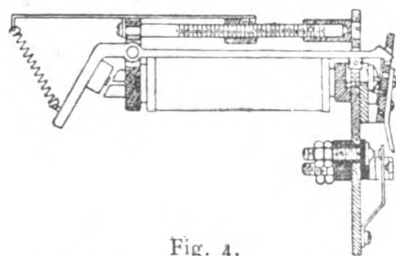


Fig. 4.

de ressort i appuyée pendant la journée sur le contact inférieur k en relation avec le commutateur multiple. Le soir, pour préparer les communications de nuit, on tourne l'excentrique H, de façon à amener tous les ressorts i sur les contacts antérieurs c. Ce contact est relié à l'annonciateur dont l'autre extrémité communique avec le ressort f (fig. 2), laquelle touche à l'état de repos le contact de terre r. Quand le volet tombe, le ressort f est appuyé sur le contact a, et communique dès lors avec la ligne voulue. La figure 4 montre les détails de construction d'un annonciateur. A. H.

Compteur Hookham (1894)

Ce compteur se compose d'un disque d'aluminium A, tournant entre les pôles B' B² d'un électro-aimant B, en dérivation sur le courant à mesurer, entre deux ressorts en spirale C C', en série sur ce courant, puis enfin entre les pôles d'un aimant permanent D, qui fait frein sur le disque A. Ce disque tourne ainsi avec une force à peu près proportionnelle à l'intensité du courant, car il se met en mou-

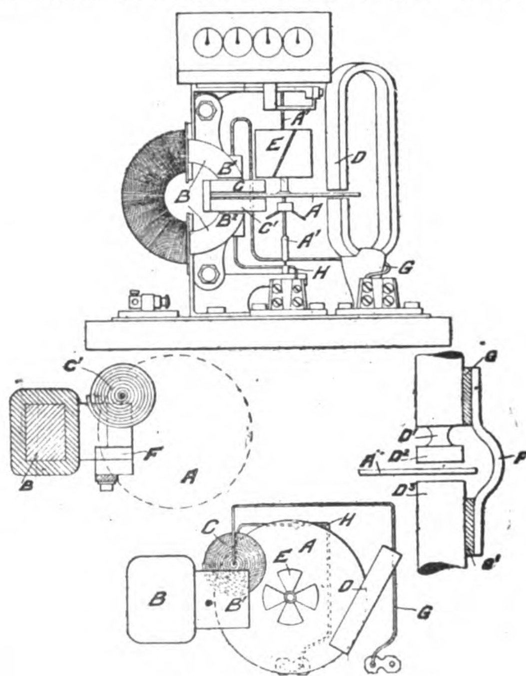


Fig. 1, 2, 3 et 4.

vement avec le courant de CC' seul, de sorte qu'il tend, lorsque le courant passe à la fois en B et en C C', à tourner avec plus de force dans un sens que dans l'autre, introduisant ainsi une erreur en plus ou en moins suivant le sens de la rotation. Afin de corriger cette

erreur, on fait tourner le disque dans le sens de l'excès, et l'on monte sur son axe un frein à ailettes E, dont la résistance qui augmente avec le carré de la vitesse de rotation, compense l'excès de puissance dont l'aimant D ne tient pas compte. On peut, grâce à ce frein, régulariser à sa volonté la marche de l'appareil et en augmenter l'amplitude. En outre, comme la puissance de rotation du disque A provient de la différence de phases des courants en B et en C C', il faut rendre l'auto-induction de B aussi grande et sa résistance aussi faible que possible.

Afin d'assurer la constance de l'aimant permanent D l'on entaille l'un des pôles D^1 (fig. 4) d'une gorge D^1, et l'on relie ce pôle à l'autre D_2 par une lame métallique F, à semelles non magnétiques G et G' ; le pôle D^1 se trouve ainsi complètement saturé, ce qui assure l'invariabilité de son action. Enfin, le départ du disque A est facilité par l'interposition d'un écran en cuivre F (fig. 2) entre l'un des pôles de B et A. G. R.

Electrodynamomètre Siemens et Lauckert (1895)

Dans cet appareil, le courant, admis en 1, passe aux deux bobines fixes A et B : cette dernière bobine est reliée directement au circuit extérieur par la borne 2. De A, le courant passe à la bobine mobile *a*, suspendue au ressort 7, puis au rhéostat R, à la bobine

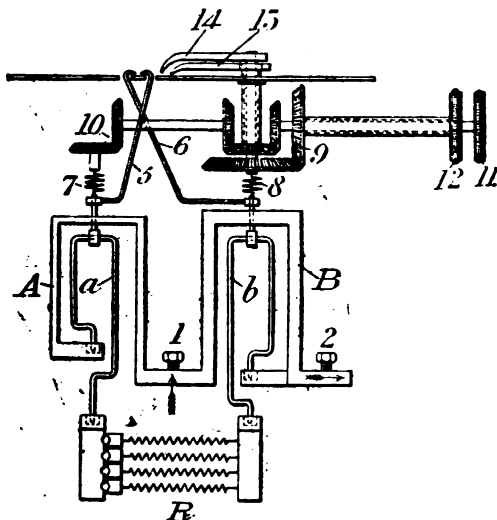


Fig. — 1.

b, suspendue en 8, et enfin, par B, en 2. Les aiguilles indicatrices 5 et 6 des bobines *a* et *b* sont ramenées au zéro par les manettes de réglage 11 et 12, dont l'une commande 5 et le bras 13, tandis que l'autre actionne 6 et 14. Quand le courant passe, on ramène ainsi 5 et 6 au zéro, et les angles A et B marqués par les bras 13 et 14 donnent l'intensité du courant par la formule

$$I = \frac{\sqrt{A\alpha + B\beta}}{\sqrt{A\alpha}},$$

α et β étant deux constantes déterminées par expérience.

Quand l'intensité est telle que les angles A et B dépassant le quadrant, on la réduit par les résistances R, qui dispensent ainsi de l'emploi d'un appareil plus coûteux. G. R.

La dissolution du charbon par l'électrolyse (¹)

Dans une note très intéressante, récemment lue devant l'Association électrotechnique allemande, le Dr Alfred Coehn exposait les expériences qu'il a faites dans le but de savoir si le charbon peut former des ions et prendre ainsi une part active dans un circuit électrolytique, ou, en d'autres termes, si une anode de charbon peut être dissoute dans les conditions qui caractérisent la dissolution d'une anode de métal.

Des recherches sur ce point ont déjà été faites par Bartoti et Papasogli ; ceux-ci trouvèrent qu'en faisant passer un courant entre deux électrodes de charbon plongées dans un bain d'acide sulfurique dilué, de l'oxyde de carbone et de l'anhydride carbonique apparaissent à l'anode en même temps que l'oxygène, ce qui prouverait que l'anode prend une part active dans l'action et subit une oxydation.

L'auteur essaya, en faisant varier la concentration et la température du bain, ainsi que la densité du courant, d'éviter complètement la formation de l'oxygène à l'anode et de n'obtenir que les produits de l'oxydation du charbon. Il est parvenu à recueillir un mélange formé de 70 pour 100 environ de gaz carbo-

(¹) D'après l'*Electrician*, t. XXXVI, p. 756 ; 3 avril 1896.

nique et de 30 pour 100 d'oxyde de carbone, la proportion de l'oxygène étant inférieure à 1 pour 100.

Au cours de ces expériences, l'auteur remarqua que la désagrégation de l'anode a lieu à une température modérée et qu'on peut voir les particules du charbon en suspension dans l'électrolyte. Pour des températures plus élevées, cette désagrégation n'a pas lieu, quoiqu'on remarque cependant une notable coloration de l'acide ; ce liquide, d'abord jaune, devient rouge foncé dans le cours de l'expérience et finalement rouge brun. Si cette coloration est due à la dissolution du charbon, on peut en conclure que le charbon est alors à l'état d'ion et dirigeable par le courant. Par suite il doit se déposer sur la cathode ; l'expérience confirme cette déduction. En remplaçant la cathode de charbon par une cathode en platine, le charbon se dépose sur celle-ci comme le ferait un métal. La coloration de la lame de platine par les particules de charbon est d'abord très faible, mais elle va toujours en s'accentuant à mesure que la couche s'épaissit et la surface devient d'un beau noir et d'un aspect graphitique.

Ce phénomène de dissolution et de précipitation peut s'obtenir avec des charbons de différentes natures, avec des crayons de lampes à arc comme avec du charbon de bois ou du graphite.

L'auteur a d'ailleurs eu soin de s'assurer que les dépôts formés étaient réellement constitués par du charbon et non par quelques impuretés métalliques pouvant provenir de l'anode. Il a constaté que le dépôt est insoluble dans l'acide chlorhydrique, un peu soluble dans l'acide nitrique bouillant, comme l'est le charbon dissous dans l'acier, et qu'il disparaît complètement quand on le chauffe au contact de l'air. En traitant ce dépôt par les méthodes employées pour l'analyse des matières organiques, il a reconnu en outre qu'il est constitué presque entièrement de charbon, mais qu'il contient cependant de l'oxygène et de l'hydrogène dans les proportions où ces corps entrent dans l'eau. Ce résultat conduit l'auteur à considérer ce dépôt comme un hydrate de carbone, hypothèse confirmée par la façon dont se comporte le dépôt avec l'acide sulfurique concentré, lequel agit très sensiblement sur lui.

L'établissement des faits que nous venons de relater conduisirent le Dr Coehn à en chercher une application à la production de l'énergie électrique. Mais pour former un bain pouvant donner de l'énergie électrique par l'oxydation du charbon, il faut nécessairement trouver une cathode électro-négative par rapport au charbon, lequel fait lui-même fonction d'anode. Une plaque de peroxyde de plomb placée dans une cuve secondaire remplit cette condition. Lorsqu'une cathode de ce genre est opposée à une anode de charbon et que toutes deux sont plongées dans un bain d'acide sulfurique d'une concentration et température convenables, on obtient ainsi une pile primaire dans laquelle le charbon est la substance attaquée ; la différence de potentiel entre les pôles de cette pile est de 1.03 volt pour un circuit ayant une résistance extérieure de 100 ohms (Le Dr Coehn ne mentionne pas quelle fraction de l'énergie totale est transformée en énergie électrique).

Mais on peut se demander si l'énergie électrique ainsi produite est réellement due au charbon agissant comme anode soluble. L'expérience semble le prouver, car si on prend une feuille de platine on obtient bien un courant, mais ce courant va en décroissant et cesse bientôt totalement, tandis qu'avec une anode de charbon on obtient un courant constant jusqu'à l'épuisement de la cathode et ce courant reprend sa même intensité quand on remplace la plaque de peroxyde usée par une neuve.

En résumé, les expériences du Dr Coehn établissent les faits suivants :

1° Il est possible de préparer une solution de charbon par l'électrolyse.

2° Le charbon peut être séparé de cette solution à la cathode.

3° On peut construire une pile dans laquelle l'électrode soluble est en charbon. L. D.

Protection des appareils de mesure contre les perturbations dues aux tramways électriques, par O. Frolich [1].

Les perturbations causées aux appareils de mesure par les tramways électriques sont de deux sortes ;

1° Les effets d'induction par les courants circulant dans les conducteurs ;

2° Les effets dus aux courants dérivés à la terre sur le circuit de retour.

Les effets d'induction dus au déplacement d'un tramway W (fig. 1), peuvent être assimilés, d'après la loi d'Ampère, à ceux que produirait un aimant qui occuperait à tout moment une position correspondant à peu près au centre du rectangle O S W. Ils sont peu importants, et, à moins que les appareils soient placés tout près de la ligne, ils peuvent être négligés.

Les effets dus aux courants de retour par

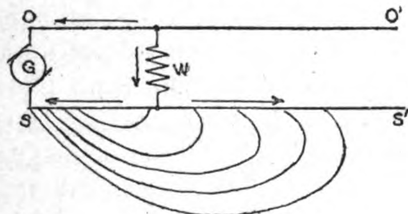


Fig. 1.

la terre, ou courants « vagabonds », comme on tend à les appeler, sont les plus importants. L'auteur les a étudiés sur les lignes de Steglitz-Lichterfelde, de Dresden-Blasewitz, et sur une petite ligne expérimentale construite spécialement dans ce but. L'action observée est représentée par une courbe telle que T (fig. 5). « Quand une voiture quitte le dépôt, on peut observer une perturbation qui d'abord augmente lentement, puis plus rapidement et continue à augmenter jusqu'à ce que la voiture ait dépassé d'une certaine distance le point où est placé l'instrument ; elle conserve ensuite une valeur constante jusqu'à ce que la voiture soit arrivée au bout de la ligne. Cette allure régulière se présente surtout dans le cas d'une ligne droite, parallèle à l'aiguille aimantée ; elle est modifiée lorsque la ligne a des courbes et lorsque sa direction, par rapport à l'aiguille aimantée, est différente. Cependant, ces modifications ne semblent pas très importantes, tout au moins lorsque l'aiguille et la ligne sont dans la même direction. On remarquera que l'action principale commence lorsque la voiture a dépassé l'instrument. Les courants terrestres s'observent principalement auprès des parties du rail où passe le courant principal, et ils persistent jusqu'à ce que la voiture soit à une grande distance.

« Comme le représente la figure 1 où O O

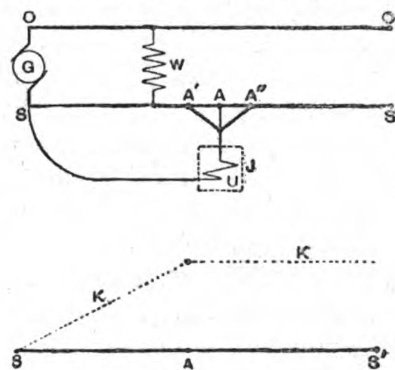


Fig. 2 et 3.

représente le conducteur aérien, S S' les rails, G la génératrice, W la voiture, le courant ne fait pas retour uniquement par la partie des rails et par la terre comprises entre la voiture et la génératrice, mais aussi par les rails et la terre, en avant de la voiture, jusqu'à une certaine distance. Ceci s'observe surtout lorsque les joints des rails sont en mauvais état ; il en résulte que l'influence des courants terrestres se manifeste en avance et que l'effet peut être renversé avant que la voiture ait dépassé l'instrument. La courbe des perturbations observée à Dresden-Blasewitz (fig. 7) montre au commencement une déflection négative qui était due, très probablement, aux courants de retour en avant de la voiture. Il est possible que les types de courbes de perturbations déjà obtenues ne soient pas les seuls,

[1] Communication faite à la Elektrotechnischer Verein, de Berlin.

et que des recherches ultérieures en augmentent le nombre, mais, au point de vue pratique, on peut admettre que, dans la plupart des cas, les courants vagabonds sont la cause principale de perturbation et prendre comme courbe type celle de la figure 5. D'autres causes la modifieraient sans altérer essentiellement son caractère ».

Pour corriger automatiquement ces troubles, le Dr O. Frolich proposa deux méthodes de compensation qui consistaient à enrouler autour des instruments des fils parcourus soit par une partie du courant terrestre lui-même, soit par un courant dérivé proportionnel au courant terrestre, de telle sorte que les deux actions se contrebalançassent. Dans le premier cas, les fils de compensation étaient terminés par des plaques de terre qui étaient enterrées près du bâtiment à protéger et qui collectaient une partie des courants nuisibles. Dans le second cas, les fils de compensation étaient reliés à différents points des rails près du bâtiment, puis enroulés autour de celui-ci et ensuite reliés à l'extrémité du rail près de l'usine génératrice. Le premier procédé était destiné à compenser tous les courants terrestres passant près du bâtiment ; le second ne corrige que les effets dus aux courants dérivés du tramway ; il a l'avantage de ne pas employer de plaques de terre qui, en pratique, ne sont pas sans entraîner de nombreux inconvénients ; aussi est-ce celui-ci que l'auteur a essayé. Il a pu réduire ainsi les perturbations causées par les tramways électriques de 75 à 80 pour 100 sur une ligne et de 95 pour 100 sur une autre.

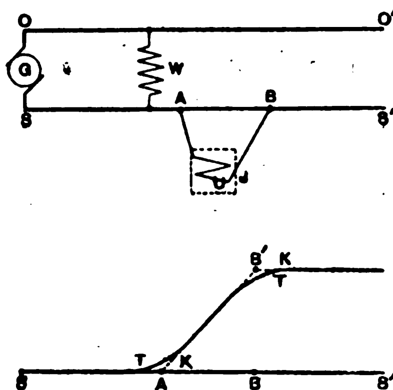


Fig. 4 et 5.

Les figures 2, 4 et 6 représentent les dispositifs adoptés.

Le premier dispositif est la réalisation immédiate de la proposition ci-dessus. Le fil compensateur fixé au rail en A A' A" est enroulé en V autour du bâtiment J et vient se terminer à l'extrémité S du rail voisine de l'usine génératrice. Admettons que le retour s'effectue uniquement entre la voiture et l'usine. Une différence de potentiel existera entre le point de contact de la voiture et S, mais il n'y en aura aucune entre W et S'. Dans le circuit S A U, la différence de potentiel entre la voiture et l'extrémité des rails à l'usine agit comme une force électromotrice qui augmente lorsque la voiture se rapproche du point A. Ensuite, de A à S' elle reste constante. La courbe du courant de compensation affecte donc la forme K K (fig. 3), qui ne représente qu'imparfaitement la courbe de perturbation (fig. 5) puisque celle-ci ne commence pas à l'origine, à moins que les instruments de mesure soient très voisins du point de départ.

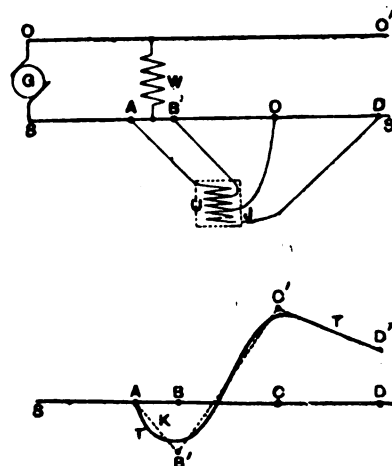


Fig. 6 et 7.

Pour obtenir une compensation suffisante on dispose les points de contact du fil compensateur en A et B (fig. 4) ; aucun courant ne pénétrera dans la boucle A U B jusqu'à ce

que la voiture soit en A ; à partir de ce moment l'intensité augmentera régulièrement jusqu'à ce que la voiture soit en B. Elle atteindra alors une valeur constante qu'elle conservera jusqu'à la fin du parcours. La compensation obtenue est figurée par la ligne pointillée KK (fig. 5) ; on voit qu'elle est très satisfaisante.

Si la courbe des perturbations est irrégulière, comme celle de la figure 7, il convient de disposer plusieurs circuits de compensation comme l'indique la figure 6. La courbe de compensation ainsi obtenu est représentée par la ligne pointillée AB'C'D' (fig. 7). Les points de contact ABCD doivent être choisis de telle sorte qu'ils correspondent aux abcisses des points de courbure A, B', C', D'. L'enroulement U forme un circuit continu dont certains points sont reliés aux rails.

Le réglagle de ce dispositif est effectué de la façon suivante : Le circuit est ajusté de façon que, quand une voiture est entre A et B, le courant de compensation agisse comme l'indique la ligne AB'. Si le circuit de compensation ne comprenait qu'une boucle, le courant de compensation conserverait la valeur B'. On donne alors à la voiture une position intermédiaire entre B et C, et l'on introduit le circuit BUC, le circuit UAB étant coupé. Le circuit BUC est alors réglé de telle sorte que la compensation soit représentée par la ligne B'C'. Pour éviter que le courant ne conserve la valeur C', on introduit ensuite entre C et D, l'enroulement CUD qui est réglé de même.

La compensation étant proportionnelle à la perturbation, est indépendante de l'intensité du courant, et, par conséquent du nombre de voitures en marche sur la ligne. Le tracé de la ligne influe sur la forme de la courbe de perturbation et nous avons vu comment, au moyen de circuits composés, on peut produire une compensation correpondante. Le procédé est donc général.

Il faut remarquer, cependant, que la compensation n'est pas absolue, mais égale à un certain pourcentage de la perturbation. La valeur absolue du courant non compensé augmente donc avec l'intensité du courant sur la ligne, c'est à dire avec le nombre de voitures en service.

M. Frolich ajoute qu'il étudie expérimentalement s'il est préférable de compenser chaque instrument en particulier ou le bâtiment entier par un conducteur qui l'entourerait, et qu'il publiera prochainement les résultats détaillés de ses expériences.

Les dépenses entraînées par l'installation de ce système compensateur seraient de 10000 à 12000 francs au total.

G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Observations sur les rayons X, par Silvanus-P. Thompson (¹).

« La recherche des conditions sous lesquelles se produisent les rayons X, dans les tubes de Crookes, est beaucoup facilitée par l'emploi des écrans fluorescents. Dans ce but, j'ai essayé plusieurs espèces d'écrans : le meilleur d'entre eux est un écran de carton noir, légèrement recouvert de platino-cyanure de potassium à l'état de poudre très fine. J'ai essayé, entre autres substances, les sulfures de calcium, de strontium et de zinc, la blende hexagonale, le fluorure de calcium, le tungstate de calcium, et plusieurs platino-cyanures. Le platino-cyanure de potassium est au moins douze fois plus lumineux que celui de baryum employé par Roentgen. La lumière qu'il émet est d'une teinte bleuâtre, dont le spectre, selon M. Jackson, qui l'a recommandé pour la cryptoscopie, est simplement le spectre du métal potassium.

» Avec un tel écran de 18 cm de diamètre, et un bon tube de Crookes, j'ai réussi à faire voir l'ombre des os de la main, l'espace entre les os du bras, et le contenu d'une bourse, à une vingtaine de personnes à la fois.

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 807 ; 7 avril 1896.

» En examinant avec cet écran un tube de Crookes pendant l'opération d'évacuation par la trompe de Sprengel [modifiée d'après les idées de M. Crookes (¹)], j'ai pu constater plusieurs faits importants.

» Les tubes que j'ai employés dernièrement sont des ampoules en forme de poire, avec une cathode en cuvette, tantôt intérieure, tantôt extérieure, pour concentrer les rayons cathodiques sur une pièce centrale qui sert comme origine des rayons X.

» Cette pièce que j'ai appelée *anticathode* (²) peut, du reste, être employée comme anode. Dans la plupart de mes tubes, l'anticathode est une lame assez forte de platine nu ; mais j'ai employé avec succès des lames recouvertes de verre ou d'un émail phosphorescent, composé de sulfure de calcium et d'émail transparent ordinaire. Il est convenable de fixer l'anticathode dans une position faisant un angle de 30° à 40° avec l'axe de l'appareil. Avec un tel tube, quarante secondes suffisent pour une photographie de la main, et vingt secondes pour celle des monnaies dans une bourse. Je me sers toujours de la bobine Ruhmkorff. La bobine de Tesla échauffe les tubes sans augmenter l'effet utile, et elle gâte les ombres et les images photographiques, à cause de l'existence des deux lieux cathodiques.

» Pour avoir un tube capable de produire les rayons X dans de bonnes conditions, il ne suffit pas de faire un vide au degré qui convient pour les phénomènes de Crookes (ombres cathodiques, phosphorescence des parois, etc). Quand paraissent les premières lueurs phosphorescentes, sur le verre de l'ampoule, le vide est bien loin d'être parfait, et la résistance électrique apparente est assez faible. Pendant l'évacuation, on peut juger de la marche de la résistance par la longueur des étincelles que l'on peut tirer entre les pointes d'un excitateur, mis en parallèle avec l'ampoule dans le circuit secondaire de la bobine d'induction. On peut obtenir les phénomènes de Crookes quand la résistance du tube est si faible que l'étincelle extérieure ne passe pas avec un écartement de 2 mm. Dans ces conditions, un écran fluorescent ne montre pas la moindre trace de rayons X, quoiqu'une plaque photographique sensible puisse donner une impression si elle est exposée assez longtemps. Mais, en continuant l'évacuation, il arrive subitement un accroissement de résistance tel, qu'il faut écarter à une distance de plusieurs centimètres les pointes extérieures. C'est à ce moment juste où la résistance électrique augmente qu'éclatent les rayons X. Si le tube n'a jamais été vidé auparavant, la transition de l'état de faible résistance à celui d'une résistance plus grande ne se produit pas aussi subitement ; mais si le tube a déjà été amené dans le second état, et qu'on admette un peu d'air pour l'évacuer plusieurs fois afin d'éliminer les gaz absorbés par les parois et par les électrodes, alors la transition est absolument subite.

» En examinant le tube avec l'écran fluorescent pendant la transition, on voit d'abord que, au moment même où la résistance augmente, il se développe une lueur dans toute l'ampoule, excepté dans le plan occupé par l'anticathode ; car il se produit à travers l'écran une ligne noire très nette, correspondante à ce plan, entre deux régions éclairées, l'une devant l'anticathode, l'autre derrière celle-ci. Les deux parties ont une luminosité à peu près égale ; mais, si la trompe de Sprengel travaille toujours, en deux ou trois secondes le phénomène change. La région située derrière l'anticathode devient plus foncée, celle qui est en avant devient plus éclairée ; et l'on finit par observer sur l'écran une région noire et une région lumineuse, dont la limite oblique correspond à la position du plan de l'anticathode. Le tube est alors dans la meilleure condition pour produire les effets de Roentgen, soit par voie photographique, soit par emploi de l'écran cryptoscopique.

» Si le vide est poussé plus loin, la résistance augmente encore, de sorte que le tube

(¹) *Proceeding of the Physical Society of London*, 874-5.

(²) Voir *Nature*, 13 mars 1896.

devient à peu près non conducteur ; il peut néanmoins fonctionner encore (à moins qu'il ne soit percé par une étincelle) si l'on augmente suffisamment la force électromotrice de la bobine.

» Au moyen de l'écran fluorescent, on peut s'assurer aussi de la non-homogénéité des rayons X. Pour une raréfraction modérée, les rayons X ne pénètrent pas la chair à l'exclusion des os aussi librement que les rayons qui sont émis quand le vide est poussé plus loin. D'autre part, quand le vide est exagéré, les rayons X pénètrent non seulement la chair, mais aussi les os. Il y a donc une certaine condition de vide pour laquelle la différence entre la transparence de la chair et celle des os est maximum. »

Sur un moyen de communiquer aux rayons de Roentgen la propriété d'être déviés par l'aimant, par A. Lafay (¹).

« Ayant entrepris quelques recherches sur les rayons de Roentgen, j'ai pensé qu'il serait utile d'examiner si, parallèlement au phénomène de la décharge des corps électrisés provoquée par ces rayons, il ne se produisait pas un changement dans leur nature. Des considérations fondées sur certaines analogies m'ont conduit à supposer que, si pareil fait était exact, les rayons modifiés devaient être sensibles à l'action d'un champ magnétique. C'est dans cette idée que j'ai entrepris, à la date du 4 mars, l'expérience suivante.

» Au dessous d'un tube de Crookes et à environ $\frac{1}{2}$ centimètre de la partie la plus brillante, je dispose un écran en plomb percé d'une fente de 2 mm de large ; 0,04 m plus bas, un second écran en plomb, portant une fente 5 mm de large, complètement fermée par une feuille d'argent excessivement mince, supporte un fil de platine de 1,5 mm de diamètre, exactement placé dans l'axe de l'ouverture et en face de la lamelle d'argent.

» Ce dispositif permet, comme on le voit, de projeter sur une plaque sensible placée au dessous l'ombre du fil de platine, à l'aide du faisceau de rayons déterminé par les deux fentes.

» Pour modifier ces rayons, je relie la feuille d'argent au pôle négatif de la bobine d'induction qui actionne le tube, de telle sorte que le faisceau qui la traverse a nécessairement subi l'influence de l'électrisation.

» Les rayons électrisés passent ensuite entre les armatures d'un électro-aimant capable de produire un champ d'environ 400 unités C. G. S. dont les lignes de force sont parallèles aux fentes ; ils viennent enfin rencontrer la plaque sensible convenablement entourée de papier noir et *fixée sur un support invariable*.

» Afin de constater l'existence d'une déviation même très faible, je place pendant la première moitié de l'expérience, sur la partie droite de la plaque sensible, un écran en plomb que je fais glisser sur la partie gauche au moment où l'on change le sens du courant dans l'électro. De cette manière, l'éloignement des deux segments de l'ombre portée par le fil donne la mesure du double de la déviation produite par le champ magnétique.

» Dans une première expérience, en plaçant la plaque sensible à 8 cm seulement des armatures de l'électro-aimant, j'ai obtenu un cliché sur lequel j'ai pu observer une déviation presque insensible, et attribuable jusqu'à un certain point à une illusion d'optique.

» Il n'en est plus de même si l'on porte à 15 cm la distance de la plaque ; on obtient alors une épreuve semblable à celle que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie et qui ne laisse plus de doute sur l'exactitude de mon hypothèse.

» Quant au sens de la direction, il se détermine par la même règle que celui des déviations magnétiques des rayons cathodiques à l'intérieur du tube de Crookes.

» J'ai répété la même expérience dans des conditions absolument identiques, *sans électriser le deuxième écran*, et j'ai obtenu deux

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 713 ; 23 mars 1896.

ombres qui se prolongent exactement, ce qui est conforme au fait déjà connu qu'un champ électrique est sans action *sensible* sur les rayons de Roentgen.

» N'ayant pas encore à ma disposition d'autres sources d'électricité que la bobine même qui sert au fonctionnement de mon tube, il ne m'a pas été possible de répéter mes expériences en électrisant la feuille d'argent par des procédés différents de celui que j'ai indiqué dans cette Note, c'est une lacune que j'espère pouvoir bientôt combler. »

Sur les rayons de Roentgen électrisés, par A. Lafay [1].

« Dans une Note récente, que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie, j'ai donné la description d'une expérience qui m'a permis de mettre en évidence la déviation par l'aimant des rayons de Roentgen *modifiés par un passage préalable à travers une lamelle électrisée.* Je me propose d'indiquer aujourd'hui quelques résultats complémentaires, relatifs à ces rayons modifiés que j'appelle, pour abréger, *rayons de Roentgen électrisés.*

» Si, au lieu d'électriser les rayons en mettant en communication la lamelle métallique avec le pôle négatif de la bobine d'induction, comme je l'indique dans l'expérience précitée, on prend comme source le pôle négatif d'une machine statique, on observe une déviation de même sens que celle dont j'ai déjà parlé. Il n'en est plus de même si l'on électrise la lamelle positivement avec la même machine ; le sens de la déviation est alors inversé.

» J'avais, en premier lieu, obtenu ce dernier résultat en prenant comme source d'électricité le pôle positif de la bobine de Rhumkorff qui actionne mon tube de Crookes; mais il m'avait paru tellement étrange que j'ai voulu vérifier, avant de l'annoncer, qu'il se produisait également en employant une source d'électricité statique.

» Il existe donc des rayons de Roentgen électrisés soit positivement, soit négativement.

» La recherche des lois qui lient la grandeur de la déviation à l'intensité du champ magnétique, à l'état d'électrisation de la lamelle et à la nature du diélectrique, fera l'objet d'un travail plus étendu ; pour le moment, je dois m'en tenir aux indications qualitatives qui précèdent, en faisant remarquer qu'il doit exister, entre les rayons de Roentgen électrisés négativement, se propageant dans l'air raréfié, et les rayons cathodiques, la plus grande analogie, *peut être même identité absolue.*

» Il est commode, pour retenir le sens des déviations, d'employer le procédé très suggestif imaginé par Hittorf à propos des rayons cathodiques. Assimilons le flux de Roentgen à un faisceau de fils conducteurs indéfinis, flexibles et sans poids ; lorsqu'ils traversent une lame électrisée positivement, ils permettent sa décharge et sont le siège d'un mouvement électrique qui s'écoule vers les points à potentiels plus faibles ; quand la lamelle est électrisée négativement, le sens du mouvement est inverse. Dans les deux cas, ces conducteurs se tordent sous l'action du champ magnétique et le sens de la déviation est donné par la règle d'Ampère.

» Je terminerai cette Note par l'indication d'un fait d'ordre tout différent, mais qui présente cependant quelque intérêt. On a remarqué que le degré du vide allait en augmentant dans certains tubes de Crookes et que ceux-ci ne tardent pas à ne plus fonctionner ; cet accident est arrivé à mon tube, il y a environ un mois ; j'ai alors eu l'idée de le mettre pendant quelque temps dans une étuve à 200°, ce qui lui a rendu ses propriétés premières. Depuis, j'ai continué à m'en servir, en le réchauffant lorsqu'il commence à présenter des signes d'affaiblissement. Cette observation, d'ordre pratique, corrobore parfaitement la Communication récente de M. Gouy, relativement à l'occlusion des gaz par le verre des tubes de Crookes. »

[1] *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 809 ; 7 avril 1896.

Une condition de maximum de puissance des tubes de Crookes, par James Chappuis et E. Nugues (¹).

« La puissance d'un tube de Crookes actionné par une bobine de Ruhmkorff à interrupteur Foucault n'augmente pas, pour une même intensité du courant mesuré dans l'inducteur fermé, en même temps que le nombre des interruptions.

» Nous avons mesuré cette puissance à l'électromètre de M. Hurmuzescu, placé à diverses distances, et fait varier de 3 à 50 le nombre des interruptions, par le déplacement d'un poids additionnel sur le trembleur. Les nombres suivants montrent que, pour la bobine en expérience, il existe un maximum dans le voisinage de 10 interruptions.

Nombre d'interruptions	Temps de chute	
3	27	47
6	23	»
10	20	24
25	30	34
50	37	42

» Les expériences récentes sur l'émission des rayons ayant un pouvoir photographique par les substances fluorescentes nous avaient conduits à penser que la fluorescence visible du verre au passage de la décharge pouvait être suivie d'une sorte de *fluorescence invisible*, prolongeant l'action photographique. Nous avons fait, pour vérifier cette hypothèse, l'expérience suivante :

» Sur la tige du trembleur, nous avons fixé une lame de cuivre épaisse, dans laquelle était pratiquée une fente d'environ 1 mm de large sur 12 mm de haut ; une plaque sensible était placée en arrière et parallèlement à 1 mm de distance, la source munie d'un diaphragme de 8 mm sur l'autre face de la lame métallique à 16 cm.

» Quand le trembleur Foucault est mis en marche, la tige entraîne, dans son mouvement d'oscillation, la fente sur une course de 4 cm, et, à chaque oscillation double, une fluorescence est produite. Nous avons fait varier la vitesse du trembleur de 3 à 20 interruptions à la seconde et le temps de pose de 1 à 30 minutes.

» Si la fluorescence utile est instantanée, comme la décharge qui la provoque, on doit obtenir l'image nette de la fente ; si, au contraire, elle dure un certain temps, on doit obtenir une bande donnant, en chaque point, une indication sur la puissance photographique du tube à un instant correspondant.

» Dans tous les cas, nous avons obtenu une image nette de la fente et de la lame mobile ; il aurait donc suffi, pour se convaincre de l'inexactitude de notre hypothèse, de photographier la tige du trembleur en mouvement ; elle donne, en effet, sur nos clichés, une ombre à bords très nets.

» Nous déposons un cliché obtenu par 36 000 passages de la fente.

» La puissance du tube est donc *instantanée, comme la décharge qui provoque la fluorescence.*

» Il semble résulter de cette expérience que la puissance du tube devrait être proportionnelle au nombre des décharges ; mais, d'autre part, la longueur des étincelles, qui jaillissent entre les deux boules d'un excitateur, tombe de 21 cm à 5 cm quand le nombre des interruptions varie de 3 à 50.

» Il y a donc là deux phénomènes qui varient en sens inverse et dont il faut tenir compte pour la production du maximum de puissance du tube.

» Ce maximum dépend de la self-induction de l'enroulement induit et les conditions nécessaires à sa production changent, pour un même courant mesuré dans l'inducteur fermé, avec la bobine employée. L'expérience seule permet donc de le déterminer. »

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 810 ; 7 avril 1896.

Sur la pénétration des gaz dans les parois de verre des tubes de Crookes (¹).

« En chauffant au chalumeau le verre provenant d'un tube de Crookes ayant servi

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 775 ; 30 mars 1896.

quelque temps, on le voit prendre un aspect mat, qui fait croire au premier abord à une dévitrification. L'altération est limitée à la surface intérieure du tube ; elle est d'autant plus marquée que le verre a reçu un rayonnement cathodique plus intense, et n'existe plus pour les portions qui n'y étaient pas exposées. Le microscope montre que cette couche mate est surtout formée d'une multitude de bulles gazeuses [1], qui sont à l'intérieur du verre, mais près de sa surface. En chauffant davantage, ces bulles se réunissent, s'accroissent en volume et finissent par être visibles à la loupe ou parfois même à l'œil nu.

» Ainsi le verre, qui a été exposé à des rayons cathodiques intenses, *dégage de nombreuses bulles de gaz quand il est ramolli par la chaleur*. Ce phénomène ne se produit dans aucun autre cas. Il semble en résulter que les rayons cathodiques font pénétrer dans le verre les gaz du tube, qui restent ensuite occlus jusqu'à ce que le ramollissement du verre les mette en liberté.

» Ces observations ont été faites avec quatre tubes de verres un peu différents ; l'un d'eux cependant ne montrait de bulles abondantes que dans les portions les plus exposées aux rayons cathodiques. »

Recherches expérimentales sur l'origine de l'électricité de frottement, par C. Christiansen [2].

1. — Dans son Mémoire sur les couches-limites électriques, Helmholtz part de l'analogie qui existe entre l'électricité de frottement et l'électricité de contact. Entre deux corps au contact s'établit une différence de potentiel $V_1 - V_2$, c'est à dire qu'il existe, de part et d'autre de la surface commune des couches d'électricité, dont la distance extrêmement petite est a et la densité $\sigma = \frac{V_1 - V_2}{4\pi a}$; si l'un des corps est un isolant, une portion notable de ces charges subsiste, quand on vient à les séparer.

Poursuivant les conséquences de cette manière de voir, l'auteur fait l'expérience suivante : l'une des armatures d'un condensateur est constituée par un bain de mercure M; l'autre, par une lame métallique A qu'on peut déplacer en la tenant par un manche isolant ; celle-ci est recouverte d'un isolant, par exemple d'une couche de poix ou de colophane. Les deux armatures sont réunies par l'intermédiaire d'un galvanomètre, qui donne une déviation de 1 cm au passage de 100 unités électrostatiques d'électricité. On commence par amener l'isolant au contact du mercure ; on ne constate aucun mouvement du galvanomètre ; le premier *courant de fermeture* est nul. En soulevant l'armature mobile on constate un courant d'ouverture dû à ce que la charge qui s'est formée sur le mercure se répand en partie sur le métal. Enfin une seconde fermeture donne un courant de sens inverse au courant d'ouverture et qui lui serait égal s'il n'y avait pas de pertes par absorption ou dans l'air ambiant.

L'expérience a été répétée avec des isolants très variés, mais elle ne donne pas des résultats constants ; il suffit que l'isolant ait été touché avec les doigts pour que certaines parties s'électrisent positivement et d'autres négativement. L'auteur a continué ses recherches avec un condensateur dont une armature est une feuille d'étain enroulée sur un tube de verre, dont l'intérieur porte une mince couche de l'isolant. La feuille d'étain est reliée par l'intermédiaire du galvanomètre à du mercure que l'on fait monter ou descendre dans le tube.

2. — Le but principal du travail était d'étudier l'influence de l'atmosphère ambiante sur le signe de l'électrisation de l'isolant. La poix est négative dans l'air, par rapport au mercure ; elle l'est encore dans l'hydrogène préparé sans précautions spéciales, mais, si on

---

[1] Les tubes ayant servi longtemps montrent aussi, dans les mêmes conditions, des rides nombreuses, qui témoignent d'une modification superficielle du verre. Celle-ci peut exister sans les bulles, ou réciproquement.

[2] *Wied. Ann.*, t. LIII, p. 401.

chauffe la poix jusqu'à la rendre simi-fluide pour la purger d'oxygène et si on purifie complètement l'hydrogène, la poix devient positive par rapport au mercure.

Le courant d'ouverture donne d'abord des déviations :

— 1,2 ; — 0,9,

puis, après le passage d'un courant d'hydrogène pur

1,6 ; 1,8 ; 1,6,

enfin après diffusion de l'air atmosphérique pendant une minute

— 0,8 ; — 1,1 ; — 1.

La cire à cacheter donne les mêmes résultats. La colophane et la soie (étudiée à l'aide d'un dispositif spécial), sont d'abord négatives ; elles deviennent graduellement positives après le passage du courant d'hydrogène. Le camphre et la paraffine sont toujours positifs, mais l'effet est beaucoup plus grand dans l'hydrogène.

Les effets observés avec la poix s'expliquent en admettant qu'au moment de la fermeture, il se forme une petite quantité d'oxyde de mercure, qui se décompose ensuite au moment de l'ouverture ; la poix reste chargée d'atomes d'oxygène négatifs et le mercure doit sa charge positive aux atomes qui étaient entrés en combinaison.

3. — Avec l'amalgame de zinc, la poix est toujours positive dans l'air ; dans l'hydrogène, elle devient graduellement négative. Avec l'amalgame de cuivre elle est toujours positive, mais plus fortement dans l'air que dans l'hydrogène. Avec l'amalgame de plomb, elle est négative dans l'hydrogène.

4. Au moment où cesse le contact, les charges en présence se réunissent, au moins partiellement, et cette réunion ne doit pas différer essentiellement de la production d'étincelles entre deux corps qui sont à des potentiels différents ; la déviation observée doit être d'autant plus petite que l'étincelle passe mieux dans le gaz ambiant ; l'expérience a vérifié cette conséquence de la théorie ; voici, par exemple, les valeurs du courant d'ouverture pour le mercure, dans l'acide carbonique, sous diverses pressions :

760 mm	1,1	1,1
400	0,7	0,5
200	0,6	0,3
100	0,35	0,2
50	0,35	0,1
10	0,3	0,1
2	0,2	0,2
0,5	0,3	0,3

La première série de nombres a été obtenue en faisant baisser la pression, la seconde, en la faisant remonter, on constate que le courant passe par un minimum ; on sait qu'il en est de même de la distance explosive.

4. Il était intéressant de remplacer les isolants par des corps conducteurs et d'étudier les piles ainsi formées. Dans ce but, on a remplacé la partie utile du tube de verre par un tube d'argent qu'on recouvrait à l'intérieur de corps tels que la gélatine, la colle de poisson, etc. ; on a aussi étudié le verre.

Les résultats sont assez complexes et variables ; la conclusion générale est que la production d'électricité de contact est remplacée graduellement par celle de l'électricité de frottement, à mesure que l'électrolyte perd sa conductibilité en se desséchant.

5. De l'ensemble des résultats l'auteur conclut que les effets qu'on attribue d'ordinaire au frottement proviennent de décompositions chimiques qui commencent quand on établit le contact et qui s'achèvent quand on le rompt ; les cations adhèrent à un corps et les anions à l'autre. La variation de poids est d'ailleurs insensible, comme le montrent les valeurs de la charge électrique des atomes, calculées par F. Richarz [1].

Il semble donc nécessaire de partir désormais du fait que l'électricité n'existe jamais en dehors des atomes ; l'auteur est amené à adopter les vues de Giese [2], qui attribue la

[1] Richarz. *Wied. Ann.*, LII, p. 385, 1894.

[2] Giese. *Wied. Ann.*, XXXVII, p. 389, 1891.

conductibilité métallique ou des mouvements d'ions. La théorie cinétique expliquant la conductibilité de la chaleur par des mouvements moléculaires, la relation bien connue entre les deux phénomènes découle naturellement de ces hypothèses.

6. On ne s'étonnera pas du rôle tout spécial que semble jouer l'oxygène dans la production de l'électricité de contact si on se rappelle que ce gaz se dissocie facilement pour donner naissance à l'ozone. C'est à cette propriété que se rattache aussi la persistance des lueurs qu'on observe dans les tubes de Geissler ; d'après Sarazin, le phénomène est particulièrement net avec l'oxygène ; il disparaît quand on emploi l'hydrogène, l'azote, le chlore ou la vapeur d'iode.

Ce rôle spécial de l'oxygène est démontré par les expériences qui font l'objet du second mémoire de M. Christiansen. La méthode employée dans ces expériences est celle de l'égaliseur de potentiel à écoulement imaginé par Lord Kelvin.

C. R.

Recherches expérimentales sur l'origine de l'électricité de contact, par C. Christiansen (¹).

M. Christiansen a employé dans ces recherches l'égaliseur de potentiel à écoulement, suivant la méthode de Lord Kelvin.

Un réservoir en métal A pouvant renfermer environ 1 kg de mercure (ou d'amalgame liquide) est isolé par de la gomme laque du support auquel il est fixé (fig. 1).

Un caoutchouc épais le relie à un tube de verre C, qui est étiré à sa partie inférieure et présente une ouverture de 0,15 à 0,3 mm de diamètre. Ce tube C, isolé aussi par de la gomme laque, traverse le bouchon qui ferme un autre tube de verre D. Dans le tube D sont disposées, de part et d'autre de l'orifice d'écoulement, deux plaques conductrices E, « plaques-électrodes » distantes de 2 à 4 mm; leur largeur est de 2 à 3 cm, leur longueur de 10 cm. F est un réservoir métallique isolé, contenant du mercure dans lequel plongent directement les plaques E ou bien auquel elles sont reliées électriquement par des fils de platine. J et H sont deux tubes soudés latéralement au tube D et qui permettent de le remplir avec un gaz quelconque.

Les différences de potentiel se mesurent par un électromètre à quadrants sensible à un centième de volt. Dans le tube C pénètre un fil de platine *a* qui est relié à un des pôles de l'électromètre tandis que l'autre communique avec le récipient F et avec le sol. Tout l'appareil est enfermé dans une caisse en bois recouverte intérieurement d'une feuille de laiton et reliée au sol.

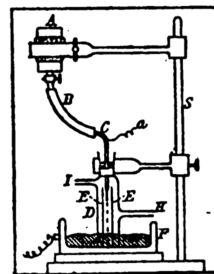


Fig. 1.

Quand le mercure s'écoule du tube C, l'aiguille de l'électromètre éprouve une déviation, qui mesure la différence de potentiel entre le mercure et les plaques-électrodes; l'électromètre est étalonné à l'aide de deux éléments Latimer-Clark de la Reichsanstalt.

1° — *Différences électriques entre le mercure et les métaux dans l'air atmosphérique.* — Le tube D est alors inutile : les plaques-électrodes sont formées du métal étudié.

Les valeurs trouvées, exprimées en volts, sont les suivantes,

Mg	Al	Cd	Zn	Sn	Pb	Fe	Ni	Ca	Hg	C
1,10	0,86	0,78	0,74	0,56	0,48	0,20	0,17	0,0	0,0	— 0,03

Les différences varient, bien entendu, avec les traitements mécaniques ou chimiques qu'a subis la surface des électrodes.

Les mesures présentent d'autre part une difficulté spéciale : quand la veine liquide se

(¹) *Wied. Ann.*, t. LVI, p. 644-661.

résout en gouttes, des gouttelettes sont projetées de tous côtés : certaines de ces gouttelettes atteignent les plaques électrodes et peuvent altérer leur surface, le changement est d'autant moindre d'ailleurs que le métal s'amalgame plus facilement.

2ᵉ — *Différences électriques dans divers gaz.* — Les différences électriques entre le mercure et les métaux varient notablement avec la nature du gaz qui entoure les électrodes : il ne paraît pas que ces variations soient dues à une altération du mercure. Par exemple, un même échantillon de zinc a donné, dans les gaz suivants,

	Air	H	Air	Co^2	O	Co^2	Air	H	Air
Zn	0,82	0,74	0,83	0,85	0,45	0,57	0,80	0,63	0,85
Zn oxydé	-0,29	-0,53	-0,37	-0,48	-0,52	-0,50	-0,48	-0,60	-0,43

En général les métaux sont plus négatifs dans l'hydrogène que dans l'air, sauf le platine pour lequel l'inverse a lieu.

Quand on veut employer l'écoulement des amalgames liquides, on rencontre quelques difficultés : les résultats deviennent très irréguliers et paraissent dépendre de la richesse de l'amalgame et de la longueur et du diamètre de la veine, mais suivant une loi qui n'a pas été déterminée.

La différence électrique entre le mercure pur et l'amalgame de zinc résulte de la présence de l'oxygène : cette différence augmente avec la richesse de l'amalgame, tant que cette richesse ne dépasse pas 5 pour cent. Ces expériences n'ont pas été continuées au delà.

Dans l'hydrogène ou dans l'azote, le mercure et l'amalgame se comportent de la même manière. L'action de l'oxygène tient sans doute à ce que l'oxydation superficielle de l'amalgame fait varier sa constante capillaire.

Les mêmes phénomènes s'observent avec les amalgames de cadmium, de plomb et d'étain.

M. Christiansen conclut de ses expériences que les amalgames placés dans une atmosphère d'oxygène se polarisent comme le platine dans l'hydrogène ou l'oxygène, cette polarisation exigeant un certain temps. En appelant m la teneur en métal de l'amalgame, p la pression de l'oxygène, E la polarisation maxima, e la polarisation à l'instant t, le phénomène serait représenté, au moins dans ses allures générales, par les équations :

$$de = k\, m\, p\, (E - e)\, d\, t$$

$$e = E\left[1 - e^{-kmpt}\right]$$

où E et k sont des constantes.

M. L.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Paris. — *Traction.* — Le conseil général de la Seine a émis un vœu favorable à l'établissement du tramway électrique allant de la place Cadet à la rue du Poteau à Montmartre.

Paris-Romainville. — *Traction.* — Par décret en date du 7 mars 1896, est approuvée la substitution à M. Claret de la Société anonyme dite *Compagnie du tramway électrique de Paris à Romainville*, comme concessionnaire du tramway de la place de la République, à Paris, à Romainville, dont l'établissement a été déclaré d'utilité publique par le décret susvisé du 18 août 1893. M. Claret demeurera solidairement responsable avec ladite Société des engagements qu'il a contractés envers l'Etat. Il est interdit à la Compagnie du tramway électrique de Paris à Romainville, sous peine de déchéance, d'engager son capital, directement ou indirectement, dans une opération autre que la construction et l'exploitation de la ligne de tramway mentionnée à l'article 1ᵉʳ, sans y avoir été préalablement autorisée par décret rendu en conseil d'Etat.

Angers. — *Traction.* — La question des tramways électriques urbains dont nous avons parlé dans notre numéro du 17 août 1895, t. IV, p. 354, lorsque ce projet a été déclaré d'utilité publique, vient d'être définitivement résolue ; nous apprenons en effet que le maire de la ville d'Angers vient, en date du 1ᵉʳ avril, de prendre un arrêté relatif à la circulation des voitures et des piétons

sur les voies que doivent traverser les tramways électriques.

Le tracé sur la place du Ralliement a été modifié : au lieu de traverser le terre-plein, les tramways le contourneront ; la Compagnie éclairera en outre la place à la lumière électrique. Le tracé des tramways a été prolongé : du côté de la Chalouère, jusqu'au marché aux chevaux ; sur la route de Paris, jusqu'à la Brisepotière, lorsque la caserne d'infanterie y sera construite. En outre, à la suite de nombreuses pétitions recouvertes de 5 000 signatures, le concessionnaire a signé l'engagement de prolonger la ligne des tramways jusqu'à la caserne du génie, de manière à desservir le quartier de Frémur.

Ainsi complété le réseau d'Angers comprendra 28 km dont 13 km de lignes suburbaines.

Les travaux sont poussés avec activité ; la Compagnie de Fives-Lille a déjà commencé la pose de la ligne aérienne ; on parle d'inaugurer le réseau dans le courant du mois de mai.

Ardes-sur-Couze. — Traction. — Des pourparlers sont engagés pour l'établissement d'une ligne de tramways électriques de Le Breuil à Ardes.

Bordeaux. — Éclairage.— La ville de Bordeaux a traité, il y a quelque temps, avec la Compagnie du gaz pour l'éclairage électrique des allées de Tourny, de la place de la Comédie, et, aussitôt qu'elle sera déblayée, de la place des Quinconces. Déjà, du reste, la Compagnie du gaz éclaire à l'électricité le Grand-Théâtre et, à cet effet, elle a établi une ligne souterraine allant de sa station rue de Condé au monument de Louis.

Depuis quelques jours on fait une nouvelle canalisation également souterraine, pour l'éclairage définitif des Allées de Tourny et de la place de la Comédie. Le premier sera assuré par 24 lampes à arc, le second par 8. La canalisation aura son origine à la même station, rue de Condé, où une machine supplémentaire est installée.

Cette machine peut débiter un courant de 80 ampères sous une tension de 500 volts ; elle alimentera aussi l'éclairage des Quinconces, qui sera organisé dans les mêmes conditions que sur les allées de Tourny.

Les câbles du système Siemens ont des sections variant entre 40 et 50 mm^2. Ils sont établis en tranchée le long des voies. Au pied de chaque candélabre, un branchement spécial aboutit à la lampe à arc.

Ces lampes, établies pour une intensité de 10 ampères, sont réunies par groupes de 8 en tension, elles sont munies d'appareils veilleurs évitant l'extinction complète du groupe si l'une d'elles venait à s'éteindre.

En ce qui concerne les Quinconces, le projet adopté prévoit, jusqu'à nouvel ordre, 24 lampes : 4 autour du monument des Girondins, 12 sur l'esplanade et 8 sur la balustrade des quais.

Tel est dans son ensemble le nouvel éclairage dont l'organisation se poursuit en ce moment.

Chateau-Chinon (Nièvre).— Éclairage.— Notre confrère l'*Écho du Morvan* annonce, dans son dernier numéro, que l'éclairage pour la ville de Château-Chinon serait résolue.

Le conseil d'Etat a rendu une décision favorable à l'exécution des projets qui lui avaient été soumis.

Le décret autorisant l'emprunt et l'exécution des travaux va être signé au prochain conseil par M le Président de la République.

Chevênoz. — Éclairage. — Chevênoz est sur le point d'être éclairé à l'électricité grâce à ce fait que c'est sur son territoire que M. Perrin, futur concessionnaire de l'éclairage électrique d'Evian, va faire passer le canal utilisant la force motrice de la Dranse. En échange de la concession du terrain pour une durée de 80 ans, M. Perrin fournira gratuitement à la commune 20 lampes brûlant toute la nuit dans les édifices communaux et les points principaux du chef-lieu et du hameau du Fion. Cette redevance d'éclairage serait remplacée par un payement annuel de 100 fr en cas d'impossibilité d'éclairer.

M. Perrin se propose de capter les eaux de la Dranse sur la rive gauche, au confluent de la Dranse de Bernex, près de la « Cambuse » ; le canal de dérivation longera la Dranse sur un kilomètre environ, puis traversera la rivière pour rejoindre l'usine électrique qui sera probablement construite sur la rive droite.

Cherbourg.— Éclairage.— Malgré les craintes, mal fondées d'ailleurs, que fait naître l'intervention du courant électrique dans cette ville, un projet d'éclairage électrique est en bonne voie d'exécution.

Le premier circuit électrique comprendra la place du Château, la rue Gambetta, jusqu'à la rue de la Fontaine, la rue de la Fontaine, la place de

la Fontaine, la rue François-la-Vieille, la place d'Armes, les rues de la Paix, l'Union, Tour-Carrée, la place de la Révolution, la rue du Port, la place Bricqueville, le quai de Caligny, le quai Alexandre III jusqu'à la rue des Tribunaux comprise et, dans l'intérieur de ce périmètre, les rues du Bassin, de la Vase, du Château au Blé, Grande-Rue, et le pourtour des Halles centrales. Ce circuit sera augmenté dans l'avenir, suivant les demandes d'abonnement des particuliers. La compagnie sera toujours tenue de satisfaire à ces demandes lorsque sur parcours de 250 m il sera réclamé 100 lampes de 10 bougies ou 60 lampes de 16 bougies.

Le courant électrique sera conduit aux frais de la Compagnie devant la demeure du consommateur qui en prendra livraison au moyen d'un branchement pris sur la conduite principale.

Les fils électriques seront en charge en permanence. Le prix du courant sera de quinze centimes par hectowatt, ce qui correspond à quatre centimes quatre dixièmes pour l'éclairage d'un carcel : c'est précisément au tarif actuel du gaz à Cherbourg le prix de revient de l'éclairage au gaz par les becs papillon qui exigent 200 litres de gaz pour un carcel. Ces prix seront réduits de 10 o/o au bout de 20 ans et encore de 10 o/o dix ans après, ce qui ramènera le prix à douze centimes l'hectowatt dans trente ans.

Epernay. — *Éclairage.* — Suivant l'initiative des autres villes, la cité champenoise d'Epernay tient aussi à avoir son éclairage électrique.

Dans la dernière séance du conseil municipal, réuni dans le but de traiter cette question, il a été reconnu que rien ne s'oppose à ce que ce système d'éclairage soit installé mais que, d'après le traité qui lie la Ville et la Compagnie du gaz, la préférence doit être donnée à celle-ci, à conditions égales, sur toute autre société qui en ferait la demande.

Pour cette dernière raison, un projet de traité sera soumis à la Compagnie du gaz en lui demandant de donner sa réponse dans le délai d'un mois.

Falaise. — *Éclairage.* — Par suite des différents qui se sont élevés entre la Ville et la Compagnie du gaz, le Conseil d'Etat a examiné la requête de la ville de Falaise contre la Compagnie du gaz.

Cette dernière avait poursuivi la Ville en dommages-intérêts parce qu'elle avait concédé l'éclairage électrique à une autre entreprise, alors que par son traité la Compagnie avait également droit à l'éclairage public, en faisant profiter la Ville des découvertes de la science.

Le Conseil d'Etat a donné raison à la Compagnie.

La Guerche (Ille-et-Vilaine). — *Éclairage.* — Dans sa séance du 29 décembre, le Conseil municipal a concédé pour 30 années, réductibles de part et d'autre, à 15 ans, l'éclairage de la ville au moyen de la lumière électrique, à M. Boucher, électricien à La Guerche.

La ville sera éclairée au moyen de 20 lampes électriques, moyennant la somme de 1 000 fr, et pendant 365 nuits, du soleil couchant à minuit, sans observer les jours de lune qui sont généralement plus obscurs que les autres.

L'éclairage actuel est fait d'une façon aussi défectueuse que possible, au moyen de treize reverbères à pétrole, moyennant 800 fr par an, plus une gratification prise sur le budget communal, attribuée au garde municipal, pour surveiller les lanternes pendant vingt jours par mois seulement. En outre, le matériel est en mauvais état et n'est d'aucune utilité pour la population qui n'y voyait goutte.

Depuis le 14 juillet dernier, M. Boucher avait fait une installation à ses risques et périls, pour les principaux établissements et magasins de La Guerche.

Le même électricien a installé 150 lampes dans les ateliers de MM. Rétif frères, fabricants de voitures à Sancoins.

Le Havre. — *Traction.* — A la suite des modifications apportées au tracé du tramway à traction électrique projeté entre le Havre et Montivilliers, le président de la Chambre de commerce propose de prendre au nom du bureau la délibération suivante :

« La Chambre de commerce,

« Vu la demande présentée par la ville du Havre à l'effet d'obtenir la concession avec faculté de rétrocession à la Compagnie française des voies ferrées économiques, d'une ligne de tramway à traction électrique du Havre à Montivilliers.

« Vu le cahier des charges, le traité de rétrocession, les plans et autres pièces à l'appui de cette demande ;

« Vu le dossier de l'enquête d'utilité publique ouverte à la mairie de la ville du Havre en exécution d'un arrêté de M. le préfet de la Seine-Inférieure du 15 juin 1895 ;

« Vu l'article 3 dudit arrêté, par lequel, confor-

mément au décret du 18 mai 1881, la Chambre est appelée à délibérer sur l'utilité et la convenance du projet ;

« Considérant que les réclamations déposées à l'enquête par la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, la Compagnie générale française de tramways et M. Félix Hubin, portent sur des questions techniques ou des points particuliers que la Chambre n'a pas à examiner ;

« Considérant que toute amélioration dans les moyens de transport et de communication ne peut qu'être profitable aux populations ;

« Qu'à ce point de vue le projet ci-dessus visé répond à la tendance de plus en plus marquée qui se manifeste vers une extension des relations entre le Havre, Montivilliers et les points intermédiaires ; qu'il a, par conséquent, un caractère d'intérêt général incontestable ;

« Émet l'avis qu'une suite favorable soit donnée à la demande de la ville du Havre.

« Cette délibération est adoptée. »

Le Havre. — Traction — La compagnie des tramways électriques du Havre expérimente en ce moment un protecteur ainsi constitué :

Deux cadres en tubes d'acier, dont l'intérieur est muni de treillages, sont réunis par une charnière permettant de les reployer l'un sur l'autre ; l'un de ces cadres est horizontal et placé à faible hauteur au-dessus du sol, l'autre est incliné et vient s'appuyer sur le devant du tablier. L'ensemble de ces cadres est articulé autour de deux axes horizontaux et s'appuie sur deux ressorts placés dans le prolongement de la partie horizontale.

Si un corps quelconque placé sur la voie est rencontré par le protecteur, la résistance de ce corps agit sur les ressorts, le protecteur s'abaisse jusqu'à toucher le sol en empêchant tout passage sous la voiture

Il est nécessaire que le cadre horizontal soit, en temps ordinaire, à une certaine hauteur au-dessus du sol, car il faut tenir compte de l'abaissement de la voiture, par suite du poids variable des voyageurs qu'elle contient.

Cet appareil, placé à l'avant et à l'arrière de la voiture, dépasse le tablier d'environ un mètre.

C'est, croyons nous, la première application en France des protecteurs.

Le dernier bulletin municipal fournit les renseignements suivants qui indiquent une augmentation considérable du trafic des tramways depuis que ceux-ci sont mûs par l'électricité.

En 1894 le nombre des voyageurs a été de 6 376 708, et en 1895 de 8 670 227. Ainsi donc en 1895 les tramways du Havre auraient porté 2 093 519 personnes de plus qu'en 1894.

Voici, d'ailleurs, comment a eu lieu ce mouvement :

Ligne de Frascati : en 1894, voyageurs 2 678 603. Sainte-Adresse, 2 511 907 en 1894 et 3 351 569 en 1895.

Grand-Quai à la place Amiral Courbet, 1 386 198 en 1894, et 1 901 917 en 1895.

Le nombre de voyageurs a été de 137 pour la ligne Frascati, 143 pour Sainte-Adresse et 95 pour la ligne de l'Eure.

La compagnie a dû augmenter par jour ses voyages de 13 sur Frascati, de 8 sur Sainte-Adresse ainsi que sur l'Eure.

Jonage. — Utilisation des chutes d'eau. — Nous apprenons que la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône vient d'adjuger ses travaux de distribution électrique à MM. Schneider et Compagnie.

Ces travaux seront exécutés par le Creusot avec le concours des maisons Escher, Wyss et Cie, pour les turbines, Brown et Boveri pour les dynamos, et Berthoud Borel pour les câbles.

Les noms de ces divers constructeurs suffisent à assurer que l'entreprise de Jonage, la plus importante de ce genre qui existe en Europe (20 000 chevaux), sera exécutée dans les meilleures conditions techniques.

Les engagements pris par eux vis-à-vis de la Société des Forces Motrices garantissent l'achèvement des installations dans les délais prévus.

Très prochainement nous publierons une série d'articles sur ces installations.

Lille.— Éclairage. — Dans notre numéro du 29 février 1896 nous avons annoncé que la Municipalité avait interdit la continuation de l'éclairage électrique à cause du mauvais fonctionnement général des appareils. Les causes principales des défectuosités paraissent provenir :

1° De la hauteur exagérée des pylônes. Ceux-ci ont en effet une hauteur de 9 mètres, ainsi qu'en a décidé le Conseil Municipal, alors que les candélabres des lampes de même intensité lumineuse installés tant à Paris qu'à Bruxelles n'ont pas plus de 5,50 m à 6,50 m ; on ne peut malheureusement

songer à les changer, du moins pour le moment.

2° De l'opacité trop grande des globes dont le pouvoir absorbant est considérable. Ces globes vont être changés ; trois déjà ont été remplacés, notamment sur la Grande Place, par des globes diffuseurs d'une transparence plus grande.

3° De la défectuosité des lampes à arc. Ces lampes n'ont été employées qu'à l'etsai, elles collent fréquemment, ce qui a pour effet de faire passer l'intensité de 15 à 25 ou même 30 ampères; la rupture des plombs fusibles et par suite de fréquentes extinctions, en sont la conséquence. La Société se propose de les remplacer ; elle a mis à l'essai à cet effet au laboratoire de l'usine trois sortes de lampes : Pieper, Bardon et Pilsen, qui prendront la place des types actuellement employés.

Ajoutons pour compléter ces renseignements, que la Société d'éclairage électrique va commencer la pose d'une seconde canalisation qui, partant de l'usine, ira par la rue St Martin, le quai du Wault et le square Jussieu se raccorder rue Nationale avec la canalisation actuelle. Elle aura pour but d'assurer le service au cas où des accidents analogues à ceux qui se sont produits se renouvelleraient.

La période d'essai de l'éclairage électrique, qui a paru bien longue aux Lillois, parait donc sur le point de se clore et on annonce que dès le mois prochain, la lumière électrique fonctionnera à la satisfaction générale ; nous le souhaitons.

Lyon.— Traction.— Les lignes de tramways à traction électrique ayant donné des résultats dépassant toutes les prévisions, un développement considérable va leur être assuré et un rapport est déposé, dans ce but, sur le bureau du Conseil municipal ; nous en reproduisons les grandes lignes.

Art. premier. — *a.* Substitution de la traction électrique à la traction animale sur tout le réseau rétrocédé par la ville à la Compagne.

b. Augmentation du capital social de cette Compagnie et émission d'obligations pour faire face aux dépenses de cette transformation.

c. Prolongement de la durée de la concession pendant 17 années et 43 jours dont deux années pour l'établissement des nouvelles installations, de telle sorte que la fin de la concession sera reportée du 17 mai 1921 au 39 juin 1938.

Art. 2. — Un délai de deux années à partir du décret approbatif est accordé à la Compagnie pour opérer cette transformation.

Art 3.— Le système adopté sera celui par conducteur aérien avec trôlet pour tout le réseau, sauf en quelques points (dont nous passons l'énumération) où bien le système adopté sera celui du conducteur souterrain à grand caniveau.

Art. 4.— La Compagnie prolongera : 1° la ligne d'Oullins, de la place de la Charité au pont de la Guillotière ; 2° dédoublera la ligne de Montplaisir sur le cours de Gambetta prolongé jusqu'à la montée des Sables ; 3° le point terminus de la ligne de Montplaisir sera reporté à l'avenue de l'Archevêché.

Art. 5.— Le type des voitures mises en circulation sera approuvé par l'adminis ration municipale. Elle seront à rez-de-chaussée sans étages supérieurs, sur les lignes de Perrache-Brotteaux et Vaise-Guillotière. Sur les autres lignes, les voitures pourront avoir un étage supérieur, mais à la condition qu'elles soient *couvertes* et *fermées* pendant la saison d'hiver, de façon à mettre les voyageurs à l'abri des intempéries.

Les voitures ne contiendront qu'une classe unique ; toutefois, la Compagnie pourra mettre en circulation, sur chaque ligne, des voitures de 1ʳᵉ et de 2ᵉ classes, sous la condition que ces voitures n'excéderont pas un tiers du nombre total.

Un arrêté municipal déterminera certaines prescriptions relatives au fonctionnement des voitures, aux mesures de sécurité et aux *arrêts* qui ne pourront avoir lieu *qu'en des points déterminés*. Une commission spéciale de six membres, nommée par l'administration municipale et comprenant deux délégués de la Compagnie, sera chargée d'établir le type définitif de la forme et de l'ornementation des poteaux destinés à supporter les fils aériens.

Art. 6. — La Compagnie des tramways sera responsable des dégats qui pourraient être occasionnés aux conduites souterraines par le fait de l'action électrique.

Art. 7. — Le tarif sera uniformément de 0,10 fr. pour tout le trajet sur une ligne de ville, jusqu'à l'extrémité de la commune, à l'exception des trains ouvriers et de théâtres. Pour les places de 1ʳᵉ classe, il sera de 0,20 fr.

Art. 8. — Sur toutes les lignes, pendant la première heure qui suivra la prise du service, il sera

délivré des tikets de 2ᵉ classe à prix réduits de 0,15 fr et 0,30 fr, donnant droit à un ou deux trajets aller et retour, valables pendant toute la journée, mais devant être employés de suite pour le premier trajet.

Art. 9. — A la sortie des théâtres, il sera organisé un service spécial allant dans les directions arrêtées d'un commun accord entre la Ville et la Compagnie au prix uniforme de 0,20 fr en 2ᵉ classe et 0,40 fr en 1ʳᵉ classe, dans l'intérieur de la commune de Lyon.

En dehors de la commune, les prix sont fixés au double de ceux du cahier des charges pour le service de jour.

Art. 10.— La correspondance pour une ligne duréseau est gratuite, et un arrêté spécial déterminera les conditions dans lesquelles sera délivrée cette correspondance, qui sera strictement personnelle et devra être employée de suite.

Art. 11.— La redevance à payer annuellement par la Compagnie est ainsi fixée :

1° Une somme de 80 000 fr.

2° Au delà du chiffre de 3 410 000 fr de recettes brutes, il sera perçu une redevance de 10 p. 100 sur le montant des recettes dépassant cette somme.

Espérons que l'essai de cette solution mixte du trôlet aérien dans la plus grande partie du parcours et du trôlet souterrain pour la traversée des places, qui supprime l'inconvénient le plus grave des lignes aériennes — l'enchevêtrement aux points de croisement — hâtera la substitution de la traction électrique à la traction animale dans notre capitale.

Moulins. Eclairage. — Nous avons parlé dans notre dernier numéro du 8 juin 1895, t. III, p. 476 de l'établissement d'une nouvelle usine destinée à l'éclairage électrique.

La Compagnie du gaz de Moulins, émue de voir le développement de l'éclairage par l'électricité, aurait, paraît-il, l'intention de fonder une usine électrique qui concurrencerait celle de la Croix-Duret. D'après certaines informations, la Compagnie d'électricité ferait installer à ses frais les appareils destinés à fournir la lumière électrique chez les personnes qui en feraient la demande et ces dernières pourraient facultativement employer à leur gré le gaz ou l'électricité. D'autre part, la Compagnie du gaz qui a un traité trentenaire passé depuis peu de temps avec la municipalité ne tient pas à perdre l'éclairage de la ville du jour où la municipalité déciderait l'éclairage électrique de la ville. On parle aussi d'un arrangement à intervenir entre la Compagnie d'électricité et celle du gaz.

Nevers.— Traction. — On se rappelle les discussions qu'ont motivé l'éclairage électrique de cette ville et l'opposition qu'a faite la Compagnie du Gaz (*Éclairage Électrique* 20 Avril 1895, t. III, p. 143). Les compagnies d'électricité ne se tiennent pas pour battues et d'autres concessionnaires viennent d'adresser au Conseil municipal trois demandes d'installation de tramways électriques : l'une de ces lignes partirait de la caserne Pittié et traverserait la ville jusqu'au Grand-Mouësse ; une autre irait du faubourg de Lyon au cimetière ; enfin, une troisième ferait le service entre Nevers et Saint-Benin-d'Azy.

DIVERS

Association française pour l'avancement des Sciences. — Nous apprenons que les communications sur la photométrie présentées à la section de physique, au Congrès de Carthage, qui s'est tenu la semaine dernière à Tunis, ont été nombreuses. Une analyse de ces mémoires sera très prochainement donnée à nos lecteurs, par M. A. Broca, rapporteur. Rappelons que la question de photométrie est une de celles qui sont proposées à la discussion du prochain Congrès des Electriciens qui se tiendra à Genève, au commencement du mois d'août.

ERRATA

Dans notre dernier numéro, une coquille et une transposition, produites au moment du tirage, ont rendu inintelligible un passage de l'article de notre collaborateur M. Jacquin.

Page 61, 1ʳᵉ colonne, lignes 25, 26 et 27, lire :

..., soit parce que la légère couche d'acétylure de cuivre ou de fer formée à l'intérieur détone,

lignes 32 et 33 lire .... Nous connaissons deux accidents survenus à Paris, chez deux personnes différentes ;

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. MAUCHAUSSAT, 31, Boulevard de Vaugirard

Tome VII **Samedi 25 Avril 1896** **3e Année. — N° 17**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

L'UTILISATION DES CHUTES DU NIAGARA (¹)

EXPLOITATION

Après avoir rapidement exposé les principaux points de l'installation gigantesque du Niagara, il nous reste, pour terminer, à jeter un coup d'œil sur les résultats déjà acquis et sur ce que réserve un prochain avenir.

Trois des grandes turbines de 5 000 chevaux et les dynamos correspondantes sont installées, comme nous l'avons vu ; les autres seront mises en place progressivement, lorsque le développement de l'entreprise l'exigera ; le bâtiment des machines sera aggrandi en proportion.

Autour de cette usine, sont déjà venues se grouper plusieurs grandes industries attirées par le bas prix de la force motrice ; il est probable que d'ici peu d'années, toute une importante ville industrielle se dressera là où peu d'années encore il n'y avait que des forêts incultes.

Sur les terrains gagnés sur le fleuve par la décharge des déblais, une fabrique de papier de bois est installée depuis un certain temps déjà ; elle utilise directement la puissance hydraulique ; elle a construit elle-même son puits à turbines et un tunnel de 183 m de longueur qui relie ce puits au tunnel de décharge de la Compagnie ; la puissance qu'elle peut utiliser est de 6 000 chevaux.

La distribution commerciale du courant électrique a commencé le 26 août 1895. Les installations actuellement alimentées sont celles de la Pittsburgh Reduction Company, de la Carborundum Company, de la Carbide of Calcium Company, ainsi que différentes compagnies de tramways électriques et d'éclairage.

La transmission de l'électricité se fera par canalisation souterraine, tout au moins pour les grandes artères. La Compagnie a fait construire, à titre d'essai, un égout qui part de la station centrale pour aboutir aux usines de la Pittsburgh Reduction Company, situées à 750 m de distance.

Cet égout a des dimensions suffisantes pour contenir tous les conducteurs à 20 000 volts et une hauteur telle que les ouvriers pourront y circuler commodément. Il est construit sur toute sa longueur en béton de 25 cm d'épaisseur. La figure 51 en représente l'aspect.

Les fils ou bandes de cuivre courent le long des murs de cet égout sur des isolateurs ; ils sont séparés mécaniquement et électriquement de l'espace où circulent les inspecteurs par un écran formé de tôles de 3 m de longueur, étendues sur des supports en bois, couvertes de plâtre et s'élevant jusqu'à 30 cm du plafond. La partie supérieure, jusqu'au plafond est formée d'un grillage qui permet de voir les conducteurs placés derrière. Ces

(¹) Voir l'*Éclairage Électrique*, des 7, 21 et 28 mars, p. 433, 549 et 577 et du 11 avril, p. 54.

écrans peuvent être enlevés pour donner accès aux conducteurs. Le fond de l'égout est incliné de façon à draîner l'eau de condensation, mais on se propose également d'envoyer à travers l'égout, un courant d'air pour chasser toute humidité. Le haut de la voûte est à 1 m sous le sol, en sorte que la gelée ne

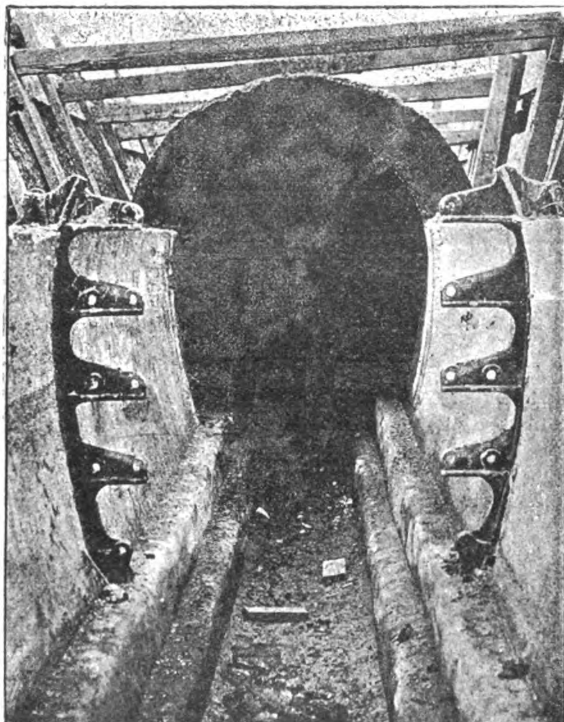


Fig. 51. — Section transversale de la conduite souterraine.

peut l'atteindre. Les crampons et les supports métalliques sont reliés, à travers le mur en béton, à un fil de cuivre qui court le long de l'égout, et qui communique avec des plaques de terre plongées dans l'eau. Tous les 120 m se trouvent des regards qui donnent accès à l'égout et laissent passer 4 tuyaux en poterie de 8 cm de diamètre permettant d'établir des branchements aux points intermédiaires. On a placé dans cet égout des rails qui permettent de faire circuler un petit wagonnet pour le transport des ouvriers et des matériaux. Il est possible que cet égout soit prolongé jusqu'à Buffalo d'ici peu.

La Pittsburgh Reduction Company fabrique de l'aluminium par les procédés Cowles.

Le courant alternatif biphasé, à 2 000 volts, engendré à la station centrale, est amené directement à l'usine, sans avoir été transformé. La Compagnie le transforme elle-même ; d'abord, au moyen de transformateurs réducteurs, elle ramène sa tension à 115 volts, puis, au moyen de transformateurs tournants, ce courant alternatif est ramené à l'état de courant continu à 160 volts. Les transformateurs réducteurs sont au nombre de 8 ; chacun d'eux a une capacité de 200 kw. Les transformateurs tournants, au nombre de 4 seulement, ont chacun, une puissance de 400 kw ; trois d'entre eux seulement seront en service simultanément, le quatrième étant en réserve ; il y a, en effet, un très grand intérêt à ce que la production soit continue. Les trois machines seront groupées en dérivation ; leur débit total sera de 7 000 ampères à 160 volts.

Les transformateurs réducteurs sont isolés à l'huile et refroidis par insufflation d'air dans l'huile.

Les transformateurs tournants ont 20 pôles et font 150 tours à la minute. Les constructeurs ont crû devoir adopter des balais en cuivre pour éviter les pertes par la résistance des frotteurs en charbon, qu'ils pensaient devoir être très grandes en raison de l'énorme intensité du courant. Cette erreur les a conduits à donner à leurs machines des dimensions exagérées (fig. 52) et une vitesse angulaire trop faible.

Comme son nom l'indique, la Carborundum Company fabriquera le carborindon de M. Acheson. On se rappelle que cet abrasif extrêmement dur est un carbure de silicium qui est fabriqué de la façon suivante : un large noyau de charbon, long de 2,50 m environ et de 0,093 m² de section droite, est placé verticalement dans un large four ; autour de ce noyau, est placé le mélange de sable et de coke servant de matière première. On fait ensuite passer dans le noyau un courant alternatif qui porte l'ensemble à une très haute température, qui est maintenue pen-

dant 12 heures environ. Le carborindon est ainsi obtenu à l'état cristallin. L'emploi du courant alternatif prouve que l'action est purement calorifique, les effets électrolytiques sont nuls. La tension nécessaire diminue depuis le commencement de l'opération jusqu'à la fin par suite des changements de résistance. Elle tombe de 250 volts au début, à 100 volts à la fin. Sans réglage, le courant passerait donc de 3 000 à 7 500 ampères, tandis qu'il doit être maintenu constant.

L'installation comprend un transformateur d'une capacité de 1 000 chevaux. C'est probablement le plus grand qui ait été construit. Il est isolé à l'huile (fig. 53). Un régulateur spécial de dimensions à peu près semblables

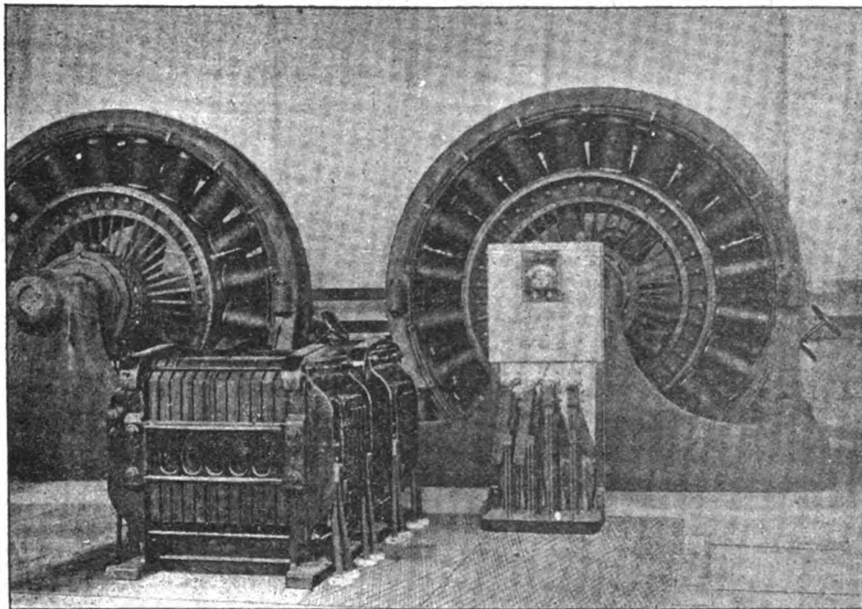


Fig. 52 — Transformateurs statiques et transformateurs tournants de la Pittsburg Reduction Company.

permet de varier le voltage appliqué suivant les phases de l'opération. Ce régulateur est la partie la plus intéressante de l'installation au point de vue électrique ; en voici la description (fig. 54 et 55).

Le transformateur a un taux de transformation fixe; il ramène le courant de 2 200 volts à 185 volts (fig. 55). Le régulateur est en quelque sorte un transformateur dans lequel l'induction mutuelle entre le primaire et le secondaire est variable. Sa construction rappelle un peu celle d'un moteur à induction, car il est composé de deux parties concentriques en fer lamellaire sur lesquelles sont placés les enroulements. La partie extérieure est fixe, tandis que la partie intérieure peut tourner, autour de son axe, sur un angle de 60°. Cet angle correspond à l'espace entre deux pôles, les enroulements étant groupés de telle sorte qu'ils forment 6 pôles.

En plus de l'enroulement régulier, la partie mobile est munie de quelques tours d'un conducteur à faible résistance fermé sur lui-même, et placé entre les pôles, afin d'éviter les courts circuits magnétiques quand le régulateur se rapproche de plus en plus de sa position médiane. Ce régulateur est donc un transformateur dans lequel l'action inductive des deux enroulements est modifiable, et dans laquelle leur induction mutuelle varie.

Les connexions du transformateur et du régulateur avec la ligne et avec le four sont indiquées en figure 55. Le régulateur a, pour plus de simplicité, été représenté dans cette figure comme n'ayant que deux pôles et avec l'enroulement en anneau: en réalité,

il a 6 pôles et il est enroulé en tambour.

Le transformateur et le régulateur seront reliés ensemble et au four par de fortes barres en cuivre suspendues au dessus d'eux, au toit du bâtiment. L'enroulement de la partie fixe du régulateur est placée en série avec le secondaire du transformateur, et la partie mobile est en dérivation. Les conducteurs aux différents points sont proportionnés aux courants qu'il portent.

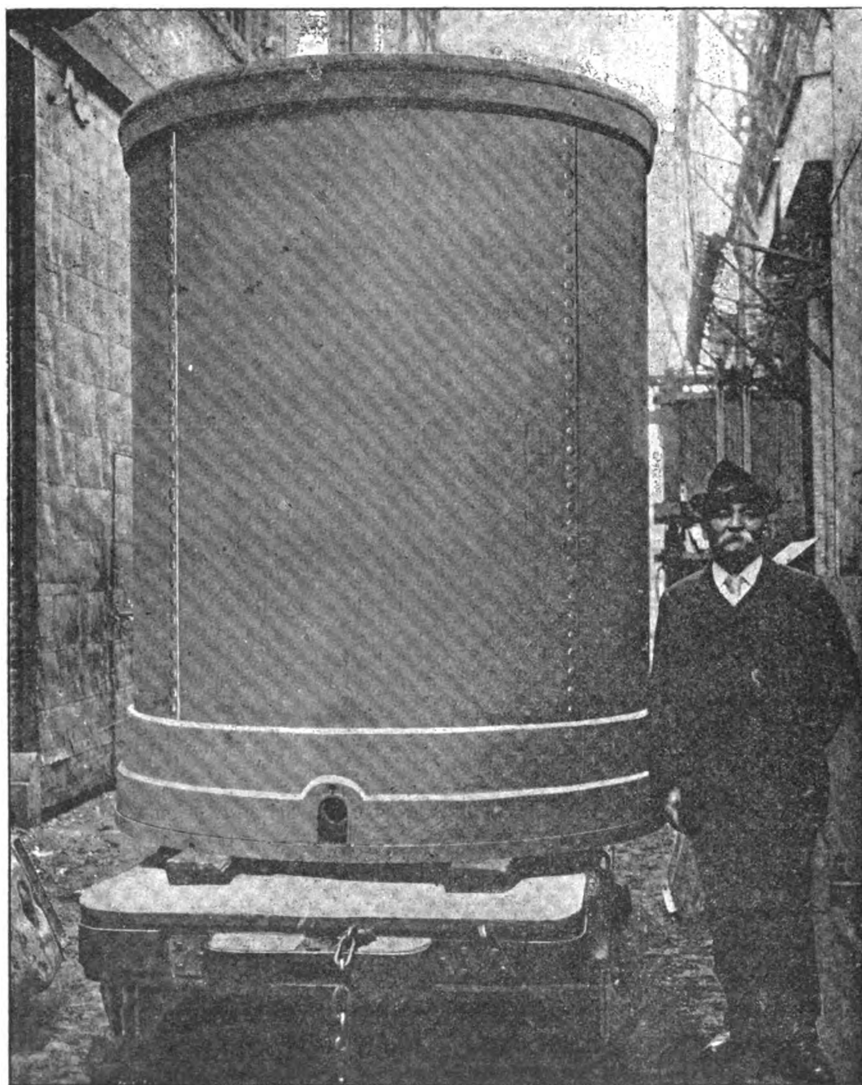


Fig. 53. — Transformateur statique de 1000 chevaux de la Carborundum Company.

Au début de l'opération, la résistance du mélange étant maxima, le courant du transformateur se divise ; une partie anime le système mobile du régulateur, le restant passe par l'enroulement fixe ; la force électromotrice est ainsi élevée de 185 à 250 volts.

Le régulateur est ensuite graduellement tourné lorsque la résistance diminue ; le courant dérivé diminue par suite de la moindre résistance du mélange, et la force électromotrice additionnelle diminue aussi. Lorsque le régulateur atteint sa position médiane, les deux parties n'ont pas d'induction mutuelle, et le régulateur est absolument neutre, si ce

n'est que les pertes par aimantation qui s'y produisent sont prises aux dépens du courant principal.

Lorsque le régulateur a dépassé cette position médiane, la résistance du mélange continuant à baisser, la force électromotrice engendrée dans les parties fixes commence à être opposée à celle du transformateur. On obtient ainsi un réglage très bon en dépit des variations brusques de résistance du circuit d'utilisation.

La fabrique de carbure de calcium a été inaugurée en février dernier.

Elle a une capacité de 1000 chevaux, mais on ne sait pas encore exactement quelle intensité de courant il vaudrait mieux adopter pour obtenir les meilleurs résultats.

Le courant employé n'est pas redressé ; il est simplement transformé de 2 200 à 100 volts environ.

L'installation actuelle comprend 4 fours ; chacun d'eux contient des creusets longs de 1,06 m, larges de 0,66 m et profonds de 0,81 m.

Le courant sera maintenu sur chaque four pendant à peu près 3 heures et les fours travailleront successivement. Les organisateurs espèrent obtenir environ 9 kg de carbure de calcium par cheval et par jour.

Le prix de revient ne dépasserait pas alors 125 à 150 francs par tonne.

L'installation actuelle permettrait de fabriquer environ 9 tonnes de carbure par jour.

Si l'on ajoute que les tramways électriques de Niagara sont maintenant actionnés par le courant de l'usine transformé en courant continu à 600 volts, que la Compagnie est en pourparlers pour fournir le courant pour l'éclairage de Niagara et de différents autres points, qu'un chemin de fer électrique à grande vitesse est à l'étude pour relier Niagara à Buffalo, ce qui exigerait de 1 500 à 2 000 chevaux enfin, qu'après de nombreuses difficultés le Compagnie vient de signer un contrat avec la ville de Buffalo, pour pouvoir y vendre le courant électrique en vue de supplanter les moteurs à vapeur, on voit que l'exploitation se présente sous un jour favorable.

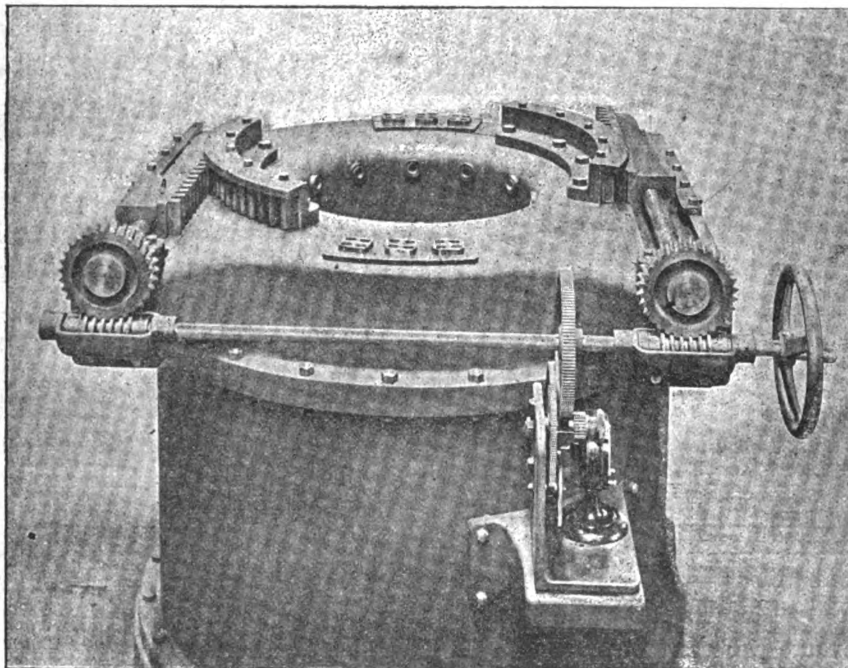


Fig. 54. — Vue extérieure du régulateur de la Carborundum Company.

Buffalo est situé à environ 33 km de Niagara. Grâce à sa situation excellente elle a pris un rapide développement ; en 10 ans, de 1879 à 1889, sa population a augmenté de 66.5 pour 100 et sa fortune de 89 pour 100 ; elle a un important commerce de grains et de bois ; c'est un centre important pour les chemins de fer et pour la navigation des lacs et des canaux ; le réseau de ses tramways électriques dépasse 150 km en longueur ; l'éclairage

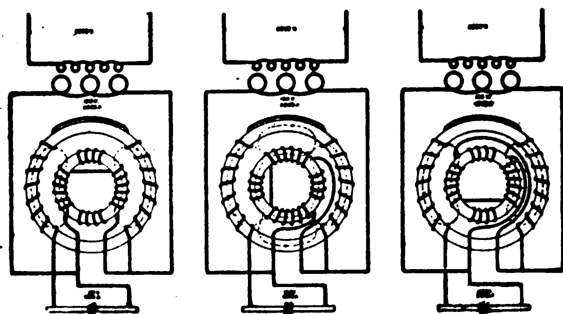


Fig. 55. — Régulateur dans ses différentes positions.

électrique privé comprend plus de 60 000 lampes et l'éclairage public, 1 500 lampes. Ses différentes usines absorbent une puissance de plus de 50 000 chevaux-vapeur.

Le champ d'action de la Compagnie du Niagara en cette ville est donc très considérable et Buffalo ne peut qu'en profiter ; aussi en prévision du développement rapide qu'elle va recevoir elle vise déjà à la suprématie sur les autres villes de l'Union, et s'intitule la « Cité Reine » !

L'accord, signé, le 14 janvier 1896, est établi sur les bases suivantes :

La concession couvre une période de 66 ans à partir de la date d'acceptation ; elle exige que 10 000 chevaux puissent être utilisés le 17 juin 1897 au plus tard, et que 10 000 chevaux supplémentaires soient ajoutés tous les ans pendant les 4 années suivantes, ce qui porterait la puissance totale disponible à 50 000 chevaux.

A partir du 15 janvier 1903, la Compagnie du Niagara paiera, à la fin de chaque année, une somme calculée à raison de 2,5 pour 100 de ses recettes brutes provenant de la vente d'électricité dans la ville de Buffalo. A la fin de la 12e année (1914) de ces paiements, c'est à dire 18 ans après l'acceptation du contrat, la redevance pourra être modifiée par un comité « formé de trois arbitres : un, nommé par la Compagnie, un par le Maire de la ville, le troisième sera désigné par les deux premiers. Ces arbitres décideront, à la majorité des voix, et auront tout pouvoir pour augmenter ou diminuer le taux de la redevance payée par la Compagnie, ou d'une façon quelconque régler ou déterminer celle-ci comme il leur semblera juste et équitable ».

Le prix de vente du courant est laissé à la libre décision de la Compagnie, qui a dû lutter pendant longtemps avant d'obtenir cette facilité. Mais elle a fait comprendre que l'entreprise n'avait chance de réussir que si l'énergie électrique était vendue moins cher que l'énergie engendrée sur place par les moteurs à vapeur et que, par conséquent, il n'y avait pas lieu de fixer un prix maximum.

Ceci nous conduit à ce point si souvent discuté : Pourra-t-on transmettre l'énergie du Niagara à grande distance et la vendre à des prix suffisamment bas pour lutter contre la production de l'énergie par les moteurs à vapeur ?

Les opinions les plus contradictoires ont été émises.

MM. Houston et Kennelly ont conclu de leurs calculs que la puissance électrique pourrait être transmise à Albany, à 530 km des chutes, et vendue à raison de 110 fr environ par kw et par an, en utilisant le courant pendant 24 heures par jour, durant toute l'année.

Tesla estime pouvoir transmettre économiquement 100 000 chevaux à New-York (720 km) ou à Chicago (800 km).

D'un autre côté, plusieurs ingénieurs ont déclaré que l'on ne pourrait même pas atteindre Buffalo à des prix pouvant soutenir la comparaison avec ceux qu'on peut obtenir avec de bonnes machines à vapeur.

Ces opinions sont évidemment exagérées. Nous croyons parfaitement possible de trans-

mettre économiquement à de grandes distances, de grandes puissances. En effet, d'un côté le rendement des fortes machines est très élevé et surtout l'intérêt, l'amortissement et l'entretien de la ligne prennent une beaucoup moindre importance en se répartissant sur une puissance suffisante. Mais aussi, nous ne croyons pas, qu'en l'état actuel de la science, on puisse adopter des potentiels suffisamment élevés pour atteindre des distances de 400 ou 800 km.

Sans entrer dans le détail de la discussion, ce qui nous entraînerait trop loin, nous citerons quelques chiffres qui pourront fixer les idées.

Le premier point à déterminer est évidemment le suivant : quel est le prix de revient du cheval vapeur ?

Buffalo est une ville où le charbon est très bon marché : il ne coûte que 7,50 fr la tonne (de 908 kgs) ; la main d'œuvre y est à un prix moyen. Nous la prendrons donc comme exemple.

D'après les essais qui ont été faits dans une usine de cette ville, équipée avec des moteurs du type le plus économique, d'une puissance de 1 000 chevaux, et dont la charge était très régulière, les prix de revient seraient les suivants : en y comprenant l'intérêt, l'assurance, les impôts et taxes, les dépenses d'exploitation, la dépréciation et les réparations ; pour un service quotidien de 11 heures par jour, 165 fr par cheval et par an, soit 4,11 centimes par cheval heure ; pour un service continu de 24 heures par jour pendant l'année entière, de 255 fr par cheval, soit 2,9 centimes par cheval heure.

En raison des conditions exceptionnellement avantageuses dans lesquelles cette exploitation est faite, les prix ci-dessus sont des minima rarement atteints. Ainsi, M. Horatio H. Foster qui avait eu à faire de nombreux essais de machines à vapeur a publié les chiffres suivants qui sont établis d'après les livres de comptabilité des propriétaires de machines à vapeur, et qui sont le résultat d'une année entière d'exploitation.

Tableau I

Nos d'ordre	Puissance	Durée quotidienne du service	Prix de revient annuel du cheval vapeur
1	entre 40 et 50 ch	24 h	747,90 fr
2	200 300	24	240,95
3	3 000 4 000	24	310,20
4	30 40	24	1 169,75
5	200 300	24	266,85
6	50 60	24	655,60
7	20 30	24	757,70
8	1 300 1 400	11	163,50
9	50 60	15 1/2	382,25
10	20 30	9	541,35
11	10 20	9	866,65

Les industries correspondantes étaient les suivantes : 2 meuneries, 3 imprimeries de journaux, 1 grande boulangerie, 1 grand magasin de nouveautés, 1 station centrale d'éclairage électrique et 3 usines élévatoires pour le service des eaux ; toutes étaient situées à Buffalo. Les prix donnés comprennent toutes les dépenses de combustible, salaires, huile, chiffons, etc., réparations, eau, enlèvement des cendres, divers, intérêt du capital, dépréciation, assurance, taxes et impôts.

Dans deux cas seulement les prix sont aussi bas que ceux donnés plus haut ; ils n'ont rien de régulier et varient, suivant la puissance des moteurs et la nature du service, entre 2,75 et 26,4 centimes par cheval heure.

Voyons maintenant à combien reviendrait le cheval heure électrique.

D'après le professeur Forbes, la dépense actuelle s'élève à 25 000 000 fr. Lorsque les 100 000 chevaux seront installés, la dépense sera d'environ 35 000 000 fr, soit 350 fr par cheval, tout compris.

La compagnie se propose de vendre l'énergie dans les conditions suivantes :

Pour l'énergie non développée, c'est à dire pour la fourniture de l'eau et la jouissance des canaux d'amenée et du tunnel de décharge, 50 francs par an et par cheval de puissance, calculé d'après le volume de l'eau fournie.

Pour l'énergie mécanique : 65 fr par an et par cheval pris au sommet de l'arbre des turbines.

Pour l'énergie électrique : 90 fr par an et par cheval pris aux bornes des dynamos.

Ces prix seraient établis pour des puissances minima de 10 000 chevaux ; pour des puissances moindres, les prix seraient plus élevés ; ainsi la Compagnie du Carborindon paierait 100 fr par cheval et par an pour une puissance de 1 000 chevaux.

La vente aurait lieu à forfait, c'est à dire qu'un client payant pour 1 000 chevaux pourrait utiliser cette puissance pendant l'année entière à raison de 24 heures par jour, mais qu'il n'aurait droit à aucune remise s'il n'employait ses moteurs que la moitié ou le quart du temps.

Ces prix laissent, on voit, une belle marge pour les bénéfices de la Compagnie.

Reste la question de la transmission à distance.

Admettons qu'on veuille transmettre 50 000 chevaux à Buffalo, à une distance de 25 km. En employant une tension de 20 000 volts, le rendement de la ligne pourrait être de 0,92 ; les transformateurs auraient un rendement de 0,97 ; la ligne de distribution, dans Buffalo aurait un rendement de 0,90. Nous admettrons que les dynamos réceptrices ont aussi un rendement de 0.90, ce qui est faible pour de grandes machines ; on pourrait donc obtenir un rendement de 0,685. En chiffres ronds, sur les 50 000 chevaux transmis à Niagara, on en recueillerait 33 000 environ sur l'arbre des moteurs, à Buffalo.

En fixant le prix de la ligne à 25 fr par cheval reçu, soit à 825 000 fr, ou 33 000 fr par km, on voit que les frais d'intérêt, d'amortissement seraient très faibles, soit 3,75 fr environ par cheval et par an. La ligne étant solidement construite, les frais d'entretien seraient très faibles. On sait que la ligne téléphonique de Chicago à New-York, qui a été construite très solidement ne coûte que très peu d'entretien.

Si l'on admet que la Compagnie vende le courant à Niagara, à raison de 90 fr le cheval-an, pour la transmission à grande distance, ce qui est peu probable, le cheval mécanique coûterait à Buffalo, 136 fr, de courant électrique. Ceci pour un emploi continu de 24 heures par jour. Le prix le meilleur marché de la même puissance produite par des machines à vapeur étant de 240,95 fr, on voit qu'il reste une marge suffisante pour le paiement des frais d'exploitation, d'intérêt, d'amortissement, etc., et qu'on pourrait vendre l'énergie électrique à un prix inférieur au prix le plus bas que permet d'obtenir la machine à vapeur, tout en réalisant un bénéfice suffisant.

Ces calculs, très approximatifs, n'ont pour but que de montrer la possibilité de l'œuvre entreprise, sans chercher en aucune façon à établir les prix de vente.

G. Pellissier.

LES DYNAMOS (1)

Machines de Ferranti (1894). — Ces nouvelles machines, à courants continus ou alternatifs, procèdent de l'idée, originairement due à M. Brown, de noyer les conducteurs d'induit dans le fer même de son noyau, à la périphérie la plus voisine du système inducteur. Ces conducteurs sont naturellement isolés du fer dans lequel sont pratiqués les trous ou tout au moins les rainures qui les reçoivent, et les tubes de matière isolante dans lesquels ils sont logés viennent déboucher, de part et d'autre de l'induit, dans des boîtes ou chambres où sont immergées dans une substance isolante quelconque, huile, cire, etc., les connexions nécessaires de fil à fil, comme l'indiquent les figures 1 à 3 ci-dessous, qui représentent en coupe longitudinale, en plan et en section transversale, un des segments d'un induit de ce genre. Les noyaux en tôle de ces segments sont boulonnés et encastrés dans une culasse commune en fonte. Ils forment, par leur juxtaposition solidement assujettie, un ensemble circulaire généralement fixe, à l'intérieur duquel se

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 247.

meut le système inducteur composé d'électro-aimants rayonnant vers l'induit.

Dans les cas où des liaisons extérieures, telles que celles au collecteur, sont nécessaires, le tube qui isole le conducteur fait saillie extérieurement et est prolongé par une enveloppe isolante à ailettes, de manière à augmenter le plus possible la surface d'isolement.

Toutes ces précautions sont prises surtout en vue des hautes tensions pour assurer le parfait isolement des conducteurs voisins et

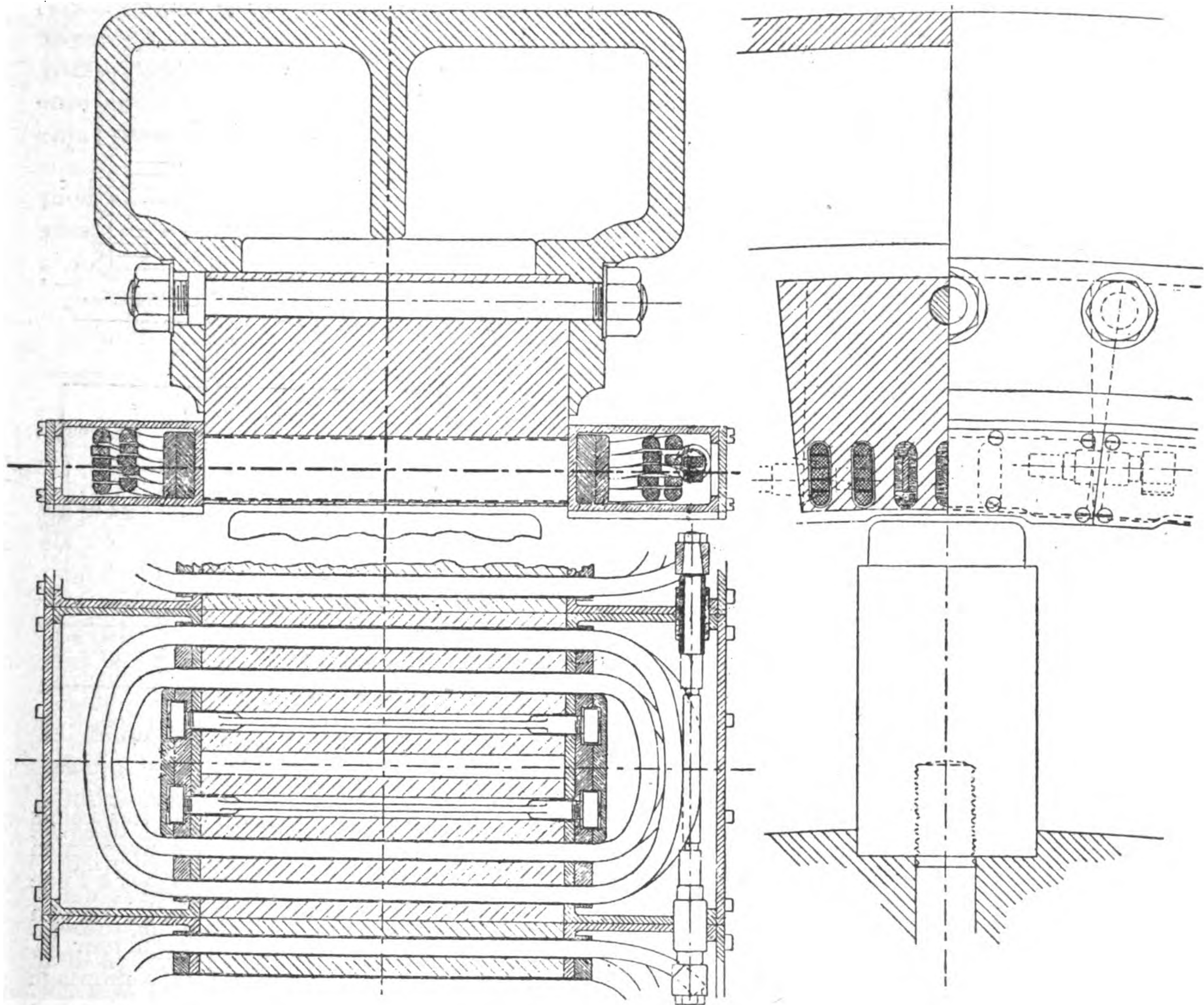


Fig. 1, 2 et 3. — Machines de Ferranti (1894). Coupe longitudinale, plan et coupe transversale.

éviter les dérivations dangereuses. Elles permettent, pour les transformateurs à courant continu, de loger dans un même trou de noyau un nombre correspondant de conducteurs primaires et secondaires. L'appareil fonctionne ainsi avec une beaucoup moindre dépense d'énergie et sans étincelles dues à la torsion des champs sur eux-mêmes. Les conducteurs primaires et secondaires passent naturellement dans des tubes isolants différents logés dans le même trou.

Alternomoteur Mordey (1894). — L'objet de la disposition ci-dessous est d'obtenir un

moteur à courants alternatifs simples démarrant seul et fonctionnant presque sans étincelles, grâce à un dispositif de commutateur et de balais mettant en court-circuit pendant

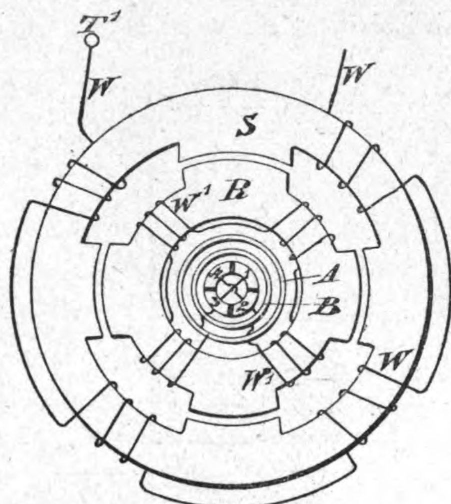


Fig. 4. — Alternateur Mordey (1894)

une portion de chaque phase les bobines d'inducteur ou d'induit.

L'inducteur fixe S et l'induit mobile R sont garnis tous deux d'un même nombre d'enroulements déterminant des pôles alternés. Les extrémités de l'enroulement d'induit W' sont respectivement reliées à deux bagues métalliques A et B en connexion avec

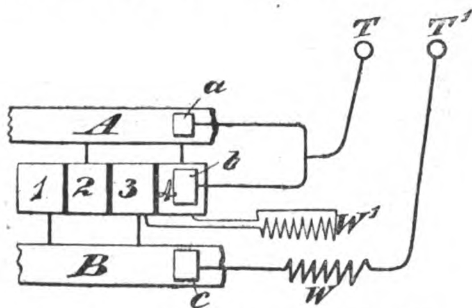


Fig. 5. — Alternateur Mordey (1894).

un commutateur à quatre sections (dans le cas actuel) de telle sorte que l'une des bagues communique électriquement avec deux sections opposées 2 et 4, tandis que l'autre communique avec les sections 1 et 3.

Quel que soit le nombre des pôles, identique pour l'inducteur et l'induit, le nombre des sections du commutateur doit être le même.

Des balais, non représentés, pour plus de clarté, dans la figure 4, sont disposés comme l'indique la figure 5. L'un d'eux *a* porte sur la bague A, un autre *b* sur le commutateur,

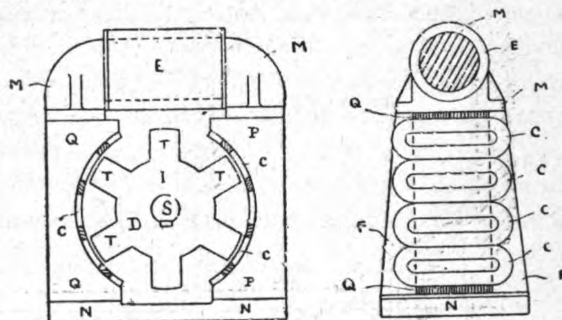


Fig. 6, 7, 8. — Alternateurs Kingdon (1894), à réluctance variable.

et un troisième *c* sur la bague B. Les balais *a* et *b* sont reliés par un fil ou peuvent n'en former qu'un seul ; ils sont rattachés à l'une des bornes T de la machine. Le balai *c* est en connexion avec l'enroulement inducteur W pour aboutir à l'autre borne T'. Ce montage met ainsi en court-circuit les bobines d'induit pendant une portion de chaque phase.

Alternateur Kingdon (1894). — Cet alternateur est une des formes de machines de l'auteur à réluctance variable. L'excitation est fournie par une seule bobine E (fig. 6 et 7) enroulée sur un noyau M, relié aux pièces polaires feuilletées P et Q réunies elles-mêmes à la partie inférieure par une assise en

métal non magnétique. Sur la face interne de ces pièces polaires convenablement alésées sont fixées des bobines C. Le tout est immobile ; le seul organe tournant est un tambour D en feuilles de tôle présentant à sa périphérie de larges dents T. F est un bâti qui maintient les montants P et Q. Ces pièces P et Q possèdent, sous l'excitation de E, des polarités contraires ; il en est de même, mais inversement, des dents situées en regard qui complètent le circuit magnétique. La rotation de l'organe mobile détermine des variations de flux qui développent des forces électromotrices dans les bobines C. Celles-ci sont

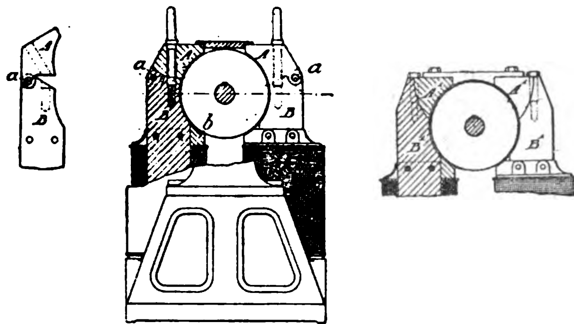


Fig. 9. — Dynamo Parker (1894), type supérieur.
Fig. 10. — Dynamo Parker (1894), type supérieur.
Fig. 11. — Dynamo Parker (1894), type Manchester.

au nombre de quatre sur chaque face polaire, dans les figures 6 et 7, contre six dents à l'organe mobile, dont le « pas » est ainsi double de celui des bobines. Ces bobines peuvent, à volonté, se relier en série ou en parallèle.

L'aimantation des pièces polaires P et Q est fixe, d'où peu de perte de ce fait par hystérésis. Celle des dents T et du tambour D se renverse deux fois par tour, et le nombre de renversements de force électromotrice dans les bobines C est égal, par tour, au double du nombre de dents de l'organe mobile. On peut ainsi obtenir avec un petit nombre de renversements et une faible perte par hystérésis une force électromotrice de haute fréquence.

La figure 8 représente la même disposition adaptée à une carcasse du type Manchester.

Dynamo et électromoteur Parker (1894). — La modification ici introduite a pour but de faciliter la visite, le nettoyage et le remplacement éventuel d'un induit de machine bipolaire type supérieur. A cet effet, les parties supérieures des pièces polaires sont articulées

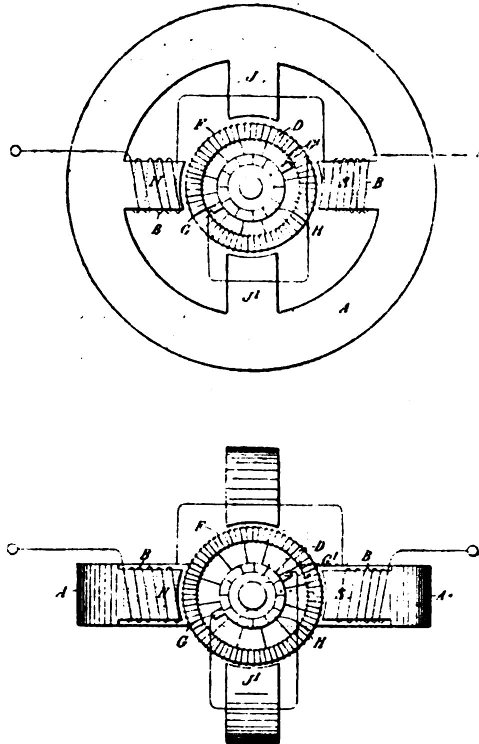


Fig. 12 et 13. — Alterno-moteur Clark (1894).

en *a* (fig. 9) au moyen d'une charnière qui permet de les renverser en dégageant assez l'induit pour qu'on puisse le visiter et au besoin l'enlever pour une réparation. Deux boulons terminés par un anneau les maintiennent d'ailleurs immobiles lorsqu'elles occupent la position normale de fonctionnement. La figure 10 indique la limite de la course donnée à ce mouvement articulé qui ne laisse plus aucune partie saillante de nature à empêcher le retrait de l'induit ni des bobines inductrices, à la collerette supérieure desquelles est fixé le bec polaire inférieur *b*. Pour diminuer la réluctance du joint résultant de cette division des pièces polaires et permettre le passage du plus grand flux possible de

l'inducteur à l'induit tout en dégageant bien celui-ci, les inventeurs ont fait naître cette séparation un peu au-dessus du plan horizontal passant par l'axe de la machine et ils lui ont donné une inclinaison très accentuée de l'intérieur vers l'extérieur.

La figure 11 montre une autre manière plus simple et moins coûteuse d'arriver au même résultat. La portion interne de la partie supérieure des pièces polaires qui doit être mobile est simplement alésée et remplie ultérieurement par deux masses de fer qui remplacent les parties enlevées et complètent le système inducteur. Deux boulons les maintiennent en place.

Alternomoteur Clark (1894). — Si l'on prend dit l'inventeur, un anneau Gramme ordinaire D avec son commutateur H et ses balais usuels GG' et qu'on le monte sur un axe avec lequel il puisse tourner entre les deux pôles saillants NS d'un électro-aimant B disposé comme dans la figure 12 (abstraction faite des saillies J J') et excité par un courant alternatif extérieur, on réalisera, comme on sait, un moteur à courants alternatifs ; mais les spires induites s'échaufferont outre mesure, et, si l'on cherche à réduire l'intensité par une modification relative quelconque des résistances en jeu, on n'arrivera qu'à diminuer le rendement dans des proportions telles que le moteur ne sera plus pratique. Son invention réside dans l'introduction des deux projections J et J' placées entre les pôles de l'inducteur et qui ne prennent d'autre polarité que celle induite en elles par l'anneau. La présence de ces extensions réduit les courants dans les bobines inductrices B et induites F au point qu'à vitesse normale de rotation il n'y a plus d'échauffement exagéré et, ce qui est plus important, on obtient un rendement élevé.

Il n'est pas nécessaire d'ailleurs que les masses de fer J J' fassent partie du noyau A ; elles peuvent en être complètement distinctes et séparées par un intervalle d'air considérable, comme dans la figure 13.

Un autre avantage de cette disposition serait de permettre sur l'anneau l'enroulement d'un nombre de spires beaucoup plus grand que sur l'inducteur, d'où résulterait une réduction de vitesse angulaire pour l'obtention d'un couple déterminé.

E. Boistel.

DYNAMOS A HÉLICES CONCENTRIQUES

Introduction

Un courant électrique rectiligne crée autour de lui un champ magnétiqne analogue au champ magnétique ordinaire et jouissant des mêmes propriétés. Les surfaces de niveau sont des plans menés par l'axe du fil et faisant entre eux des angles égaux ; les lignes de force sont les circonférences ayant leur centre commun sur l'axe du courant ; quant à la force, elle est normale en chaque point au plan passant par ce point et par le courant. Sa direction est donnée par la règle d'Ampère.

Le champ magnétique d'un courant est défini par un potentiel, c'est à dire par une fonction dont les dérivées partielles, par rapport aux coordonnées, représentent les composantes respectives de la force prises en sens contraire. Mais le potentiel du courant en un point n'est pas une simple fonction des coordonnées ; en effet, pour un courant rectiligne indéfini, cette fonction a une infinité de valeurs différant les unes des autres d'un multiple de $4\pi\tau$, τ étant le travail correspondant à la rotation complète autour de l'axe du courant d'un pôle égal à l'unité.

Le potentiel d'un courant fermé quelconque en un point A est donné, à une constante près, par l'angle solide ω sous lequel on voit le contour de ce courant du point A, multiplié par l'intensité électromagnétique du courant

$$V = I\,\omega + C^{te}.$$

Le théorème d'Ampère permet d'assimiler un solénoïde à un système obtenu par la su-

perposition d'un certain nombre de feuillets magnétiques de même grandeur, d'épaisseur égale à la distance e des spires du solénoïde et de densité superficielle $\sigma = \frac{I}{e}$, I étant l'intensité du courant. Les surfaces en contact de tous ces feuillets s'annulent réciproquement, sauf les deux extrêmes, et l'action intérieure se réduit à celle de deux masses $\pm m$ placées aux extrémités. Si le solénoïde a une longueur l et s'il est formé de n spires, on aura donc :

$$+m = S\sigma = \frac{IS}{e} = \frac{nIS}{l} = n_1 IS$$

n_1 étant le nombre de spires par unité de longueur.

Au lieu de considérer un simple solénoïde, considérons une bobine circulaire, formée de n spires de rayon R, ayant une longueur l et traversée par un courant d'intensité I. L'intensité du champ magnétique sera :

1°) A l'extrémité de l'axe de la bobine

$$H = n_1 I 2\pi \frac{l}{\sqrt{l^2 + R^2}}$$

2°) Au milieu de l'axe

$$H = 4\pi n_1 I \frac{l}{\sqrt{l^2 + 4\pi R^2}}.$$

Si la bobine avait une longueur infinie, ou du moins si l était très grand, on aurait pour l'intensité du champ magnétique en un point intérieur,

$$H = 4\pi n_1 I.$$

Si l'on introduisait un noyau de fer doux dans cette bobine (supposée de grande longueur), le flux total d'induction magnétique Q qui traverse le barreau serait, en appelant K le coefficient de susceptibilité magnétique :

$$Q = 4\pi n_1 IS(1 + 4\pi K).$$

Si l'on appelle df la variation du flux de force, la force électromotrice induite, dans un circuit de surface Ω, pour un certain déplacement dl sera

$$e = \frac{df}{dt},$$

dt étant la durée du déplacement.

Les relations unissant df à dl étant supposées les suivantes :

$$df = d\Omega H \qquad d\Omega = a\,dl.$$

où a est une constante, H l'intensité du champ, il vient

$$df = H a dl.$$

En introduisant dans cette équation la valeur de H indiquée précédemment, on aurait, comme force électromotrice, dans le cas d'une bobine de longueur très grande

$$e = \frac{df}{dt} = \frac{H a\,dl}{dt} = 4\pi_1 a I \frac{dl}{dt}.$$

Considérons maintenant le cas de deux bobines : cherchons la valeur du flux lorsque les deux hélices sont concentriques et soient :

R le rayon extérieur de la bobine induite (supposée placée à l'extérieur) ;

r le rayon de la bobine inductrice (à l'intérieur);

S la section du solénoïde simple inducteur ;

N le nombre de tours par unité de longueur du fil fin de l'induit.

Supposons d'abord que le système se compose d'une couche unique de gros fil inducteur comprenant n tours par unité de longueur.

Le coefficient d'induction mutuelle est le flux de force embrassé par la bobine induite pour un courant égal à l'unité dans l'inducteur.

Il a pour valeur

$$\Phi = 4\pi n S.$$

Il traverse N fois la surface de l'induit. Pour une seule couche d'induit, on aurait

$$4\pi n NS = 4\pi^2 n N r^2.$$

Pour des couches plus nombreuses, on aura, pour une épaisseur dr et par unité de longueur

$$4\pi^2 n N^2 \int r^2 dr.$$

Si l'on intègre entre R et r, il vient :

$$M = \frac{4}{3}\pi^2 N^2 n (R^3 - r^3),$$

en faisant abstraction des effets des extrémités.

Le coefficient d'induction mutuelle étant connu, on peut calculer la force électromotrice induite dans le circuit induit à un instant quelconque.

On a :

$$e = \frac{df}{dt}; \quad df = \mathrm{M}\, d\mathrm{I}; \quad e = \frac{\mathrm{M}\, d\mathrm{I}}{dt};$$

$$e = \frac{4}{3}\pi^2 \mathrm{N}^2 n (\mathrm{R}^3 - r^3) \frac{d\mathrm{I}}{dt}.$$

Mais outre le flux de force provenant de l'inducteur, il existe un flux de force produit par le courant qui parcourt le circuit induit lui-même et il faut en tenir compte.

Dans le cas du circuit considéré, que l'on suppose de résistance ρ, on a la relation :

$$(e - \rho \mathrm{I}')\, dt = d(\Phi + \mathrm{L}\,\mathrm{I}'),$$

LI étant la valeur du flux dû au courant même qui parcourt le conducteur considéré (induit). L est le cœfficient de self-induction. La valeur de L se déduit d'une manière identique à celle qui donne M. L'étude des feuillets magnétique conduit à une intégrale

$$\iint \frac{\cos \varepsilon}{\rho}\, ds\, ds',$$

comme expression de M. Pour L, les éléments ds et ds' font partie tous deux du même circuit. De plus, le coefficient de self-induction étant la limite vers laquelle tend le coefficient d'induction mutuelle de deux circuits parcourus par un courant de même sens et de même intensité, quand ils se confondent, on arrive à l'expression de L

$$\mathrm{L} = \frac{4}{3}\pi^2 \mathrm{N}^4 (\mathrm{R}^3 - r^3)(\mathrm{R} - r).$$

Pour M, on avait :

$$\mathrm{M} = \frac{4}{3}\pi^2 \mathrm{N}^2 (\mathrm{R}^3 - r^3).$$

La valeur totale du flux de force traversant le circuit métallique induit se composera donc de deux termes, correspondant aux deux flux partiels, provenant l'un du champ créé par les spires inductrices, l'autre du courant même qui parcourt les spires induites.

Par suite la valeur de la force électromotrice induite, en tenant compte de la self-induction est

$$\mathrm{E}' = \frac{4}{3}\pi^2 \mathrm{N}^2 n (\mathrm{R}^3 - r^3)\frac{d\mathrm{I}}{dt} + \frac{4}{3}\pi^2 \mathrm{N}^4 (\mathrm{R}^3 - r^3)(\mathrm{R} - r)\frac{d\mathrm{I}}{dt},$$

Or, dans le cas considéré ici, la variation d'intensité $d\mathrm{I}$ est produite, non pas par un affaiblissement ou une augmentation de courant dans l'hélice supposée immobile, mais par un déplacement de cet hélice supposée parcourue par un courant constant. C'est donc le mouvement des spires inductrices qui sera cause de la variation d'intensité. On admet que les deux circuits sont indépendants. L'hélice inductrice est alimentée par un courant d'intensité I. Quant à l'hélice induite c'est elle qui est parcourue par le courant de force électromotrice E. Comme on le voit, on réalise ainsi la combinaison élémentaire analogue aux machines dynamos à excitation séparée, les spires inductrices ne recevant aucune partie du courant produit par la machine elle-même.

L'expression de la force électromotrice qui vient d'être donnée ne tient pas compte des réactions de l'induit. Il est donc nécessaire de la compléter. On considérera donc, non plus seulement une seule équation, mais un système de deux équations correspondant aux deux hélices inductrices et induites.

Nous pouvons considérer les deux circuits inducteur et induit comme deux circuits immobiles, contenant l'un et l'autre des forces électromotrices et parcourus par des courants d'intensité I et I'.

Primitivement I' était égal à zéro, c'est à dire que le circuit induit n'était parcouru par aucun courant ; mais par suite du mouvement de l'inducteur (si l'on suppose que c'est lui qui se meut), un courant naît dans l'induit conformément à la loi de Lenz. On a donc alors deux courants.

Mais le courant induit produit dans le circuit induit réagit à son tour sur le courant inducteur (induction mutuelle), il réagit en outre sur lui-même (self-induction). Il faut

donc tenir compte de ces phénomènes complexes.

La force électromotrice d'induction étant, comme on vient de le voir, égale à

$$\varepsilon = L \frac{\partial i}{\partial t} - M \frac{\partial i'}{\partial t},$$

dans le cas de deux circuits i et i', on aura pour les deux circuits considérés (E, E'; I, I')

$$E = \frac{4}{3} \pi^2 N^2 n (R^2 - r^2) \frac{dI'}{dt} + \frac{4}{3} \pi^2 N^4 (R^2 - r^2)(R - r) \frac{dI}{dt}$$

$$E' = \frac{4}{3} \pi^2 N^2 n (R^2 - r^2) \frac{dI}{dt} + \frac{4}{3} \pi^2 N^4 (R^2 - r^2)(R - r) \frac{dI'}{dt},$$

en supposant, pour simplifier le problème que $M' = M$ et $L' = L$ c'est à dire que les deux circuits inducteur et induit sont aussi identiques que possible (même longueur et même résistance). On sait que les coefficients L (self-induction) dépendent des variations que peuvent subir les circuits individuels. Or, on suppose ici les hélices absolument indéformables. Quant aux M, variables avec les déplacements relatifs des deux circuits considérés, leur valeur demeure la même puisqu'il ne s'agit que de deux circuits : l'induction mutuelle demeure la même quelque soit le circuit considéré.

E et E' sont les forces électromotrices d'induction, soient ρ et ρ' les résistances des deux circuits, les équations complètes des deux circuits seront :

$$I\rho + \frac{4}{3}\pi^2 N^2 n (R^2 - r^2) \frac{dI'}{dt} + \frac{4}{3}\pi^2 N^4 n (R^2 - r^2)(R - r) \frac{dI}{dt} = F$$

$$I'\rho' + \frac{4}{3}\pi^2 N^2 n (R^2 - r^2) \frac{dI}{dt} + \frac{4}{3}\pi^2 N^4 (R^2 - r^2)(R - r) \frac{dI'}{dt} = 0.$$

F est la force électromotrice extérieure animant le circuit inducteur.

On a admis que les circuits étaient invariables de forme et de position. Que la variation d'intensité d I' du circuit induit provienne d'une variation d'intensité d I du circuit inducteur ou simplement d'une variation de distances (par le fait du mouvement d'une des deux hélices), le résultat est absolument le même au point de vue théorique.

Quant à déterminer la relation existant entre le mouvement de l'inducteur et la variation d'intensité, il est nécessaire pour pouvoir le faire, de connaître la loi de ce mouvement.

Appliquons les principes qui viennent d'être exposés au cas d'une double hélice formée de fil conducteur.

Soit d'abord le cas d'une seule spire de surface S tournant à l'intérieur de la double bobine inductrice.

Pour une position faisant un angle α avec le plan normal à l'axe du champ le flux de force est $\Phi = H S \cos \alpha$, H étant le champ magnétique uniforme.

Si l'on fait tourner le petit circuit S dans le sens des aiguilles d'une montre, on aura une force électromotrice d'induction $e = \frac{d\Phi}{dt}$ d'après la définition. Or

$$d\Phi = H S \sin \alpha \, d\alpha ;$$

d'où

$$e = H S \sin \alpha \frac{d\alpha}{dt}$$

ou, en posant

$$\frac{d\alpha}{dt} = \omega \text{ (vitesse angulaire)},$$

$$e = H S \omega \sin \alpha.$$

Soient θ la durée d'une révolution complète, t le temps correspondant à un angle de rotation α.

On aura :

$$\alpha = \frac{2\pi t}{\theta},$$

d'où

$$e = \frac{2\pi}{\theta} H S \sin 2\pi \frac{t}{\theta}.$$

Or, la valeur du champ H dans le cas d'une bobine formée de n_1 spires de rayon R (l étant la longueur de la bobine et I l'intensité du courant) est égale à

$$H = n_1 I \, 4\pi \frac{l}{\sqrt{l^2 + 4\pi R^2}},$$

d'où

$$e = \frac{2\pi}{\theta} S \sin 2\pi \frac{t}{\theta} \times n_1 I \, 4\pi \frac{l}{\sqrt{l^2 + 4\pi R^2}},$$

$$e = n_1 I S \frac{8\pi}{\theta} \frac{l}{\sqrt{l^2 + 4\pi R^2}} \sin 2\pi \frac{t}{\theta}.$$

Dans cette formule, on a supposé le champ uniforme. Or, de fait, il ne l'est pas entièrement. En effet, l'induction du premier circuit sur le second, et réciproquement celle du second sur le premier, de plus, la self-induction, modifient sensiblement le champ qui ne peut pas être considéré comme constant.

La théorie de l'induction conduit à cette expression de l'intensité,

$$I = \frac{\varepsilon - \frac{d\Phi}{dt}}{\rho} \qquad I = \frac{\varepsilon - e}{\rho},$$

dans le cas d'un circuit soumis à un champ extérieur variable. Donc, le seul fait d'avoir déplacé l'inducteur par rapport à l'induit produit dans ce dernier une force électromotrice e, dont le sens dépend du signe de $d\Phi$. I représente la nouvelle intensité, différente de I_0 (intensité initiale correspondant à $I_0 = \frac{\varepsilon}{\rho}$).

De l'expression précédente

$$I = \frac{\varepsilon - e}{\rho},$$

on tire

$$\varepsilon = I\rho + e,$$

ε est la f. é. m. du courant principal;
e celle du courant induit.

Or, dans le cas de deux hélices concentriques immobiles, nous avons trouvé comme expression de ε et de ε' en tenant compte de l'induction mutuelle et de la self-induction :

$$\varepsilon = I\rho + \frac{4}{3}\pi^2 N^2 n (R^2 - r^2)\frac{dI'}{dt}$$
$$+ \frac{4}{3}\pi^2 N^4 (R^2 - r^2)(R - r)\frac{dI}{dt} = F.$$
$$\varepsilon' = I'\rho' + \frac{4}{3}\pi^2 N^2 n (R^2 - r^2)\frac{dI}{dt}$$
$$+ \frac{4}{3}\pi^2 N^4 (R^2 - r^2)(R - r)\frac{dI'}{dt} = 0.$$

Dans ces expressions, nous avons supposé les circuits inducteur et induit suffisamment identiques pour permettre de faire $M = M'$ et $L = L'$. Si, au lieu de considérer le courant induit comme produit par une simple variation d'intensité, on le suppose engendré par le déplacement de l'hélice inductrice, on pourra remplacer l'expression de la force électromotrice d'induction mutuelle tirée de la valeur de M, par celle déduite du mouvement

$$e = \frac{d\Phi}{dt} = n_1 I S \frac{8\pi}{\theta} \frac{l}{\sqrt{l^2 + 4\pi R^2}} \sin 2\pi \frac{t}{\theta}$$

On aura alors :

$$\varepsilon' = I'\rho' + n_1 I S \frac{8\pi}{\theta} \frac{l}{\sqrt{l^2 + 4\pi R^2}} \sin 2\pi \frac{t}{\theta} +$$
$$\frac{4}{3}\pi^2 N^4 (R^2 - r^2)(R - r)\frac{dI'}{dt} = 0$$
$$\varepsilon = I\rho + \frac{4}{3}\pi^2 N^2 n (R^2 - r^2)\frac{dI'}{dt}$$
$$+ \frac{4}{3}\pi^2 N^4 (R^2 - r^2)(R - r)\frac{dI}{dt} = F$$

Si l'on substitue à S sa valeur πr^2 et que l'on étende à toute la bobine induite, il vient:

$$\varepsilon' = I'\rho' + n_1^2 \frac{8\pi^2}{\theta} r^2 I \frac{l}{\sqrt{l^2 + 4\pi R^2}} \sin 2\pi \frac{t}{\theta} +$$
$$\frac{4}{3}\pi^2 N^4 (R^2 - r^2)(R - r)\frac{dI'}{dt} = 0$$
$$\varepsilon = I\rho + \frac{4}{3}\pi^2 N^2 n (R^2 - r^2)\frac{dI'}{dt} +$$
$$\frac{4}{3}\pi^2 N^4 (R^2 - r^2)(R - r)\frac{dI}{dt} = F$$

Telles sont les considérations théoriques sur lesquelles repose le fonctionnement de la dynamo à hélices concentriques.

(A suivre) A. BERTHIER.

QUELQUES MOTS
SUR LES TURBINES AMÉRICAINES

Les applications de l'énergie électrique, transport de force, éclairage électrométallurgie, etc, dépendent beaucoup de l'utilisation rationnelle des sources d'énergie hydraulique que la nature met à notre disposition. Nous ne croyons donc pas inutile de signaler à tous nos lecteurs un ouvrage sur les moteurs hydrauliques que notre collaborateur, M. Farman vient de traduire de l'anglais (J. Fritsch, éditeur, 30 rue du Dragon). C'est le livre de M. G. Bodmer quit fait autorité en Angleterre, que M. Farman a eu l'heureuse idée de traduire avec la compétence que nous lui connaissons.

Un chapitre a été consacré à examiner les mérites des turbines américaines dont la renommée grandit tous les jours et, avec la permission de l'auteur, nous sommes heureux de présenter un résumé de ce chapitre aux lecteurs de l'Éclairage Électrique.

La construction des turbines américaines diffère beaucoup de celle des turbines qui sont encore en majorité en Europe. Comme il y a une tendance marquée à les introduire de ce côté de l'Atlantique, à cause des rendements extraordinaires que préconisent leurs constructeurs, nous croyons utile d'examiner de plus près leurs particularités, autant que nous le permettent les informations que nous avons pu obtenir.

Les turbines américaines sont généralement du type mixte à écoulement intérieur. Les turbines genre Fourneyron ont eu autrefois une certaine vogue aux Etats-Unis, et il y en a encore beaucoup qui fonctionnent aujourd'hui. Francis introduisit plus tard la turbine radiale à écoulement intérieur qui, par une transformation facile, conduisit à la turbine mixte. Un des premiers moteurs de ce genre fut la turbine Leffel.

Les particularités que l'on rencontre dans les turbines américaines sont les suivantes : Un plus petit diamètre et un plus grand nombre de révolutions pour une puissance et une chute données; un plus petit nombre de guides et d'aubes; un réglage à l'aide d'une vanne circulaire s'engageant entre les guides et les aubes ou en faisant pivoter les guides sur des charnières, de façon à modifier la section d'entrée de l'eau.

La grande majorité des turbines américaines sont à réaction et fonctionnent noyées. Certains constructeurs américains paraissent cependant vouloir assurer à l'échappement la possibilité de suivre sa direction propre. En examinant deux turbines construites pour remplir ces conditions, nous verrons cependant qu'elles n'ont pas d'échappement libre dans le sens réel du mot

Dans certaines turbines l'eau, au lieu de s'échapper parallèlement à l'axe, a aussi une composante radiale. Dans d'autres moteurs, au contraire, le chemin suivi par l'eau présente des courbes brusques et on pourrait croire que les constructeurs ont cherché à donner à l'eau le chemin le plus accidenté possible ; il serait difficile de dire dans quel but.

C'est en Amérique qu'on a fait le plus grand nombre d'essais de turbines ; la plupart de ces essais ont été effectués à Holyoke.

D'après toutes probabilités, les essais effectués à Holyoke doivent être corrects ; du reste, il ne serait pas de l'intérêt de la Compagnie de garantir à ses clients des rendements trop élevés pour ses turbines au point de vue de leur dépense d'eau.

Il est cependant à remarquer que toutes les turbines essayées en Amérique ont des rendements extrêmement élevés à côté de ceux que l'on peut obtenir en Europe. On a attribué ce fait, avec quelque apparence de raison, à la méthode employée pour mesurer le débit, et on a supposé que les coefficients employés dans les calculs nécessités par l'emploi d'un déversoir étaient trop faibles. La formule employée à Holyoke est celle de Francis, et, comme celle-ci conduit à très peu de chose près aux mêmes résultats que la formule de Braschmam en usage en Allemagne, il est peu probable qu'il y ait là la cause d'erreur. D'un autre côté, il est à remarquer que dans les principaux essais effectués en Europe on s'est servi de compteurs pour mesurer le débit et, par conséquent, ces essais ne sont plus comparables avec ceux d'Amérique.

Les turbines américaines ont été un peu brutalement attaquées par un écrivain bien connu en Europe et il sera bon de comparer d'une façon impartiale les types de moteurs américains avec les nôtres.

1) Dans les turbines mixtes, l'eau peut entrer sans chocs sur toute la largeur d'une aube, ce qui n'a pas lieu dans les turbines axiales que nous employons en Europe.

2) A cause de la grande largeur des aubes

relativement au diamètre, dans les turbines mixtes, l'eau à l'échappement s'écartera plus de la verticale que dans les turbines axiales. Il n'en résulte pas nécessairement une perte plus grande que dans les turbines genre Jonval, à cause de l'avantage inhérent à l'écoulement intérieur que nous avons déjà examiné.

Dans des conditions identiques, la vitesse résiduelle d'une turbine mixte à aubes étroites sera beaucoup plus faible que la vitesse résiduelle d'une turbine axiale ordinaire. Il s'en suit donc que, malgré un accroissement considérable de la largeur des aubes d'où résulte nécessairement une vitesse moyenne d'échappement plus grande, il y a encore avantage à ce point de vue à employer le type mixte. Nous le prouverons plus loin par un exemple numérique.

3) On a reproché aux turbines mixtes une déflexion double de l'eau en entrant dans les guides et sur les aubes. C'est vrai, sans doute ; mais les pertes de ce chef sont très faibles pour une turbine bien construite. Certains constructeurs américains font cependant changer trop brusquement la courbure au point où l'eau de la radiale prend une direction verticale

4) Comme l'eau suit une direction radiale sur une certaine longueur des aubes, la pression sur la crapaudine ou le palier de soutien sera plus faible que pour une turbine axiale. A égalité de puissance, les dimensions d'une turbine mixte étant plus faibles, la pression sur les appuis sera encore diminuée de ce chef.

5) Pour un rapport donné du rapport de la section des aubes à l'entrée et à la sortie de l'eau, la vitesse d'écoulement moyenne sera plus faible dans une turbine mixte que dans une turbine de Jonval ; il en résulte que les pertes par frottement seront également moindres si les mêmes coefficients sont applicables aux deux cas. Cependant cet avantage est neutralisé partiellement par les changements brusques de direction de l'eau dans les turbines mixtes. Nous reviendrons plus loin encore sur ce point et nous donnerons des exemples numériques à l'appui.

De tout ce que nous venons de dire il s'en suit que, s'il est prouvé que les pertes par vitesses résiduelles ne sont pas plus grandes dans les turbines mixtes que dans les turbines de Jonval, les turbines américaines ont un avantage théorique marqué sur le type adopté en Europe, premièrement à cause de l'absence de chocs à l'entrée de l'eau, deuxièmement à cause de la diminution de pression sur les appuis.

Les Américains ont adopté un plus petit nombre d'aubes que ne l'indiquait la pratique européenne. Ceci est un avantage, si l'eau est suffisamment guidée et comme cette dernière condition dépend beaucoup du rapport entre la longueur et la profondeur d'un canal, la pratique américaine semble justifiée puisque, dans les turbines mixtes, le trajet de l'eau est plus grand, ce qui permet d'adopter un écartement plus considérable entre les aubes.

Comme le diamètre de l'axe est, pour une puissance donnée, inversement proportionnel à la racine cubique de la vitesse, la puissance dépensée en frottement pour une pression donnée sur les appuis sera plus grande dans les turbines mixtes que dans les turbines axiales. L'avantage qu'ont les turbines mixtes d'exercer une pression plus faible sur les appuis se trouve donc neutralisé, au moins partiellement.

Cependant, d'après les résultats des expériences de Bornhard-Lehmann sur le frottement des arbres de turbines, il est facile de constater que la perte de ce chef, qui est de 0,9 à 1,7 pour 100 dans les turbines mixtes, monte à 1,4 et 3,4 pour 100 et même plus dans les turbines axiales.

Si l'on suppose que le meilleur rendement d'une turbine axiale est de 83 pour 100 (on a même obtenu des rendements plus élevés), une turbine mixte pourra avoir un rendement de 85 pour 100, à cause de la moindre friction de l'arbre. Si le rendement hydraulique d'une turbine mixte est supérieur à celui d'une

turbine axiale, ainsi qu'il est permis de le supposer d'après ce que nous avons dit, il n'y a pas de raison pourquoi les premières n'atteindraient pas un rendement de 87 pour 100.

Mais, tout en reconnaissant une certaine supériorité aux turbines américaines, on ne peut s'empêcher de reconnaître que les résultats des essais de Holyoke nous paraissent un peu élevés; il serait donc très désirable qu'on pût essayer en Europe quelques-unes des turbines qui donnent des rendements si extraordinaires et de pouvoir ainsi les comparer, dans des conditions exactement semblables, aux meilleures turbines de Jonval fabriquées sur l'ancien continent.

Quoiqu'il en soit, il n'est pas douteux que l'on ne puisse obtenir des résultats *au moins aussi élevés* avec les turbines du type mixte qu'avec des turbines axiales, tout en gagnant sur le poids et par conséquent sur le prix de revient.

Les aubes des moteurs américains sont généralement plus minces que celles des turbines européennes, et leurs arêtes sont amincies en lame de couteau ; elles sont généralement en bronze.

Dans le cours de cet ouvrage, nous avons donné les résultats d'expériences effectuées sur les turbines Humphrey et Hercules, toutes deux du type américain. Il y a des raisons de croire que les constructeurs ont cherché à obtenir un échappement libre de l'eau. Si nous examinons les valeurs de K_1, coefficient par lequel il faut multiplier $\sqrt{2gH}$, la vitesse de l'eau si son écoulement n'était pas contrarié, pour avoir la vitesse d'écoulement réelle.

$$K_1 = \sqrt{\frac{e}{2\frac{A}{A_1}\frac{r_1}{r_2}\sin a \sin a_1}}$$

r_1 et r_2, rayons de la turbine à l'entrée et à la sortie de l'eau ; d et d_1 direction de l'eau en ces points. On voit que ce coefficient pour la turbine Hercules est de 0,625 et pour la turbine Humphrey de 0,621. Ces chiffres montrent que ces moteurs doivent fonctionner avec « réaction », ou bien que leur rendement doit être très mauvais, puisque la vitesse d'écoulement c ne pourrait être réduite dans une turbide à impulsion que par des frottements contre les parois.

Or, les expériences prouvent que le rendement est excellent ; il est donc certain que ces moteurs sont réellement des turbines à *réaction*.

Si la turbine fonctionnait à écoulement libre, le coefficient $K_1 = 0{,}621$ indiquerait que l'eau, en quittant les guides, a déjà perdu environ 69 pour 100 de son énergie. Dans une turbine à réaction, la plus grande partie de cette énergie est transformée en pression utile qui peut se transformer de nouveau en énergie cinétique pendant son passage sur les aubes.

Dimensions des turbines américaines.

Les inclinaisons des aubes et des guides des turbines américaines varient à peu près dans les mêmes limites qu'en Europe. Il paraît y avoir une tendance à donner à l'angle a_1 une valeur élevée, afin de réduire la vitesse résiduelle ; dans certains cas, cet angle a une valeur si grande que l'échappement se fait presque normalement à l'arc. C'est pousser les choses trop loin car, dans ce cas, il faut un certain accroissement de pression pour déterminer l'échappement de l'eau. Cette pression est équivalente à une certaine quantité d'énergie qui est perdue pour le travail utile.

Le rayon extérieur d'une turbine mixte varie dans les limites suivantes :

$$r_1 = 0{,}7\sqrt{A} \quad \text{et} \quad 1{,}11\sqrt{A}.$$

A section des aubes à l'entrée de l'eau.

D'après ces chiffres, on voit que le rayon maximum des moteurs de ce genre est égal au rayon moyen minimum de Jonval. En revanche, la largeur des aubes des turbines américaines est, en général, supérieure à celle des turbines axiales.

Ainsi que nous l'avons dit, les Américains adoptent un plus petit nombre d'aubes pour une turbine donnée qu'on ne le ferait en Eu-

rope ; de ce chef le frottement est moindre, mais cet avantage se trouve compensé par des parties supplémentaires aux coudes brusques que l'on rencontre dans leur construction.

Comparaison entre les turbines mixtes et les turbines axiales.

Nous allons essayer de montrer jusqu'à quel point le désavantage d'une grande largeur d'aubes dans les turbines mixtes est compensé par une meilleure utilisation de l'énergie disponible que dans les turbines axiales. Nous examinerons d'abord ce qui est relatif aux pertes par énergie résiduelle.

Comme cas extrême, nous prendrons le cas d'une turbine mixte ayant les proportions suivantes.

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{6}{5} = \frac{\text{rayon extérieur}}{\text{plus grand rayon intérieur}}$$

$$\frac{r_1}{r_{2m}} = \frac{12}{7} \frac{\text{rayon extérieur}}{\text{rayon intérieur moyen}}$$

$$\frac{r_1}{r_2'} = \frac{3}{1} = \frac{\text{rayon extérieur}}{\text{rayon intérieur minimum}}$$

$$\frac{\text{largeur des aubes à la sortie}}{\text{rayon moyen à la sortie}} = \frac{e_2^m}{r_2^m} = \frac{6}{7}$$
$$= 68°.$$

La distribution de l'eau n'est donc pas constante, mais proportionnelle au rayon correspondant au point considéré.

La perte relative en énergie résiduelle ne sera pas alors représentée simplement par le carré de la vitesse d'échappement ; mais il faudra multiplier cette quantité par le rayon correspondant. On pourra prendre comme unité la quantité d'eau s'écoulant au diamètre moyen et en déduire la perte moyenne pour vitesse résiduelle.

Si nous posons $a = 69°$, nous aurons :

$$\frac{A}{A_2} = 0{,}75.$$

La turbine de Jonval avec laquelle nous allons comparer la turbine mixte aura les mêmes angles a et a_2 et le même rapport $\frac{A}{A_2}$.

Pour calculer la vitesse d'écoulement des deux turbines, nous pourrons supposer que les rendements des deux sont égaux. Nous aurons donc :

$$c = K_1 \sqrt{2gh} = \sqrt{\frac{c}{2\frac{r_1}{r_2}\frac{A}{A_2} \sin a \sin a_2}}$$

$$\frac{C_p}{C_m} = \frac{\text{vitesse d'écoulement de la turbine axiale}}{\text{vitesse d'écoulement de la turbine axiale}}$$

$$= \sqrt{\frac{2\frac{r_1}{r_2}\frac{A}{A_2} \sin a \sin a_2}{2\frac{r_1}{r_2}\frac{A}{A_2} \sin a \sin a_2}}$$

Or, comme a, a_2 et $\frac{A}{A_2}$ sont égaux pour les deux turbines,

$$\frac{c_p}{c_m} = \sqrt{\frac{r_1}{r_2{}^m}} = \sqrt{1{,}714} = 1{,}316.$$

Cette formule n'est vraie que dans le cas d'une distribution d'eau proportionnelle au diamètre. Si la distribution était rendue uniforme à l'aide d'aubes hélicoïdales, c'est la moyenne de $\frac{r_1}{r_2}$ pour toutes les valeurs de r_2 qu'il faudrait prendre. La valeur du rapport $\frac{c_p}{c_m}$ serait alors égale à 1,82.

Comme il n'y a que des rapports qui entrent en jeu dans notre comparaison pour l'écoulement, nous pouvons supposer une valeur quelconque c_m, 10 par exemple

$$C_m = 10.$$

La vitesse relative d'échappement sera alors pour la turbine mixte

$$c_{2m} = \frac{A}{A_2} c_m = 0{,}75 \times 10 = 7{,}5.$$

La vitesse de rotation w_1, l'angle a_1 et les vitesses résiduelles aux divers diamètres pourraient être déterminées graphiquement par la méthode si souvent employée dans le courant de cet ouvrage.

On trouverait :

Vitesse résiduelle moyenne $u = \sqrt{11} = 3{,}32$,

et

$$a_1 = 37° \, 1/2.$$

En ce qui regarde la turbine axiale, nous supposerons que les aubes sont assez étroites

pour pouvoir négliger les variations de vitesses d'entraînement ; cette hypothèse est évidemment très favorable aux turbines axiales.

Comme $\frac{C_p}{C_m} = 1,316$, on aura :

$$C_p = 10 \times 1,316 = 13,16,$$

et

$$C_{2p} = 0,75 \times 13,16 = 9,87.$$

Rappelons que C_{2p} et C_{2m} sont les vitesses de l'eau à la sortie des aubes dans le cas de la turbine axiale et mixte.

On trouvera par construction que :

$$u = 3,75$$

d'où

$$u^2 = 14,06.$$

Il est donc évident que, malgré la grande largeur des aubes d'une turbine mixte, la perte en énergie résiduelle sera plus faible dans celle-ci que dans les turbines de Jonval.

Comme dans ces derniers moteurs la vitesse c représente environ la moitié de l'énergie totale ($K_1 = 0,7$), celle-ci sera représentée dans notre cas par $2 (13,16)^2 = 346,4$, et le rapport de cette énergie totale à la perte par énergie résiduelle sera, pour une turbine axiale, de

$$\frac{14}{346,4} = 0,04 \text{ ou } 4 \text{ p. } 100,$$

et pour une turbine mixte

$$\frac{11}{346,4} = 0,031 \text{ ou } 3,2 \text{ p. } 100.$$

Il y a donc un accroissement de rendement de 0,8 pour 100 en faveur des turbines mixtes.

Outre ce léger avantage, les turbines américaines ont encore celui plus important d'utiliser, pour une hauteur de chute donnée, une vitesse d'écoulement plus faible que les turbines axiales, d'où résulte une diminution des diverses pertes par frottements et autres qui sont proportionnelles au carré de cette vitesse.

En prenant les mêmes données que précédemment, on trouvera que pour une turbine axiale :

les pertes dans les guides s'élèvent à

$$\frac{1}{2g} \cdot 0,125 (13,16)^2 = \frac{21,6}{2g}$$

les pertes dans les aubes s'élèvent à

$$\frac{1}{2g} 0,2 (9,87)^2 = \frac{19,5}{2g}$$

$$\text{Total} \quad \ldots\ldots \quad \frac{41,1}{2g};$$

et pour une turbine mixte les pertes dans les guides s'élèvent à

$$\frac{1}{2g} \cdot 0,125 (10)^2 = \frac{12,5}{2g}$$

les pertes dans les aubes s'élèvent à

$$\frac{1}{2g} 0,2 (7,5)^2 = \frac{11,25}{2g}$$

$$\text{Total} \ldots\ldots \quad \frac{23,75}{2g}.$$

La différence en faveur des turbines mixtes est donc de

$$\frac{41,1 - 23,75}{2g} = \frac{17,35}{2g}$$

dans les pertes en frottement, ce qui correspond environ à 5 pour 100 de l'énergie totale.

On voit donc qu'il y a un avantage net de 5,8 pour 100 en faveur des turbines mixtes, sans faire entrer en ligne de compte l'absence de chocs à l'entrée de l'eau sur les paliers. Si nous admettons un accroissement de 1 pour 100 de rendement de ce chef, nous arrivons de suite à un avantage de 6,8 pour 100 en faveur des turbines mixtes. Si, à cause des changements brusques des directions d'écoulement, on diminue ce chiffre de moitié, on aura encore un gain net de 3,4 pour 100 en rendement en faisant usage des moteurs américains.

LA DIFFRACTION DES RAYONS X

Les nombreuses tentatives faites jusqu'ici pour rechercher si les rayons X peuvent interférer n'ont donné que des résultats négatifs. M. Bungetziano, professeur de physique à l'Université de Bucarest, nous communique à ce sujet la lettre suivante :

« Je vous adresse quelques photographies

qui prouvent bien que les rayons X peuvent interférer par diffraction.

» J'ai été conduit à croire à l'existence de cette propriété en observant les particularités que présentaient les impressions photographiques produites par les rayons X obligés de passer par le goulot d'un entonnoir vide avant de frapper la plaque.

» La photographie n° 1 se rapporte à un de ces essais (¹). A l'intérieur du goulot de l'entonnoir, sur lequel reposait l'ampoule de Crookes, était fixé, au moyen d'un bouchon de liège, un petit tube *creux* en verre, ayant son extrémité inférieure à une distance d'environ 4 cm au dessus de la plaque photographique enfermée dans une boîte opaque. Après 25 minutes de pose on a obtenu les résultats suivants : au centre de la grande tache blanche correspondant à l'ouverture du goulot, apparaît, sous forme d'ombre, l'extrémité du petit tube ; cette ombre est entourée de deux franges circulaires dues à la diffraction des rayons invisibles.

» En changeant les conditions de l'expérience et en opérant autant que possible avec des rayons de direction toujours axiale, j'ai essayé de reproduire ces phénomènes de diffraction à l'aide d'ouvertures circulaires ou de fentes percées dans des lames métalliques. Les résultats obtenus présentèrent le plus parfait accord.

» La photographie n° 2 représente les phénomènes de diffraction produits par un trou circulaire de 3 mm de diamètre, percé dans un écran métallique placé à environ 6 cm au dessous de l'ampoule et à 10 cm au dessus de la plaque. L'examen de cette photographie montre, en outre de l'existence des franges circulaires d'interférence d'une grande clarté, cette particularité que certaines de ces franges sont excentrées par rapport à l'axe passant par le centre du trou et le sommet du tube. Il semble qu'à droite et à gauche du point central deux autres points lumineux voudraient se former, et c'est autour d'un d'entre eux que se déroule le plus beau cercle d'interférence. Cette particularité confirmerait l'hypothèse de l'existence de plusieurs centres d'émission des rayons X, hypothèse émise par plusieurs expérimentateurs et dont on n'a pu jusqu'ici donner aucune preuve définitive (¹).

» Les expériences faites avec une fente de 2 mm de largeur percée dans un écran métallique confirment les mêmes conclusions. Les franges d'interférence, que montre la photographie n° 3, sont produites avec une régularité qui rappelle les phénomènes analogues de la lumière ordinaire.

» D'autres essais, faits avec des tubes étroits en verre, de différents diamètres, ont donné des épreuves négatives où les franges se voient avec une netteté remarquable, mais, malheureusement, avec une telle faiblesse qu'on ne

(¹) Nous regrettons de ne pouvoir mettre cette photographie, ainsi que les deux dont il est parlé plus loin, sous les yeux de nos lecteurs; ces épreuves, quoique montrant très nettement les particularités que signale M. Bungetziano, n'auraient donné qu'une très mauvaise photogravure, à moins de retoucher le cliché, ce qui aurait enlevé toute valeur scientifique à la reproduction. (N. D. L. D.).

(¹) A ce propos nous croyons devoir signaler une expérience très démonstrative faite par M. Colardeau, au laboratoire de physique du Collège Rollin, il y a déjà quelque temps, au moment où lon recherchait la solution de cette question : Les impressions photographiques données par les tubes de Crookes sont elles produites *directement* par les rayons émanant de la cathode ou sont elles produites *indirectement* par les endroits où les rayons viennent rencontrer les parois du tube et où prend naissance la fluorescence ? Dans ce but M. Colardeau a commencé par prendre une photographie de divers objets placés devant un tube de Crookes en forme de poire (modèle Ducretet) sur une plaque enfermée dans son chassis, puis, remettant ces objets rigoureusement dans la même position, il en a pris, au travers d'une plaque de verre (qui arrête les rayons X), une photographie instantanée à chassis ouvert; la première résultait de l'action des rayons X, la seconde de l'action des rayons lumineux émis par le verre fluorescent. Les deux photographies furent identiques. De plus on constatait nettement, sur l'une et sur l'autre, deux images légèrement déplacées l'une par rapport à l'autre de telle sorte que, dans une direction, les contours des objets paraissaient doubles. Ces résultats ne peuvent être attribués qu'à l'existence de deux centres de radiations émettant en *même temps* des rayons X et des rayons lumineux ordinaires (N. D. L. D.).

pourrait les reproduire d'une manière satisfaisante sur les feuilles positives.

» De tout ceci, ressort clairement que les rayons X, ou du moins une catégorie de ces rayons, possèdent la propriété d'interférer par diffraction.

» Ce fait a, comme on le devine, une importance scientifique indiscutable ; d'abord l'hypothèse de la propagation de ces rayons par flux ou bombardement moléculaire se trouve réduite à néant ; ensuite la périodicité de la vibration de cette radiation s'affirme sans conteste ; finalement la possibilité de mesurer la longueur d'onde de ce mouvement vibratoire apparaît plus proche. Je regrette pour ma part que l'insuffisance de mes moyens de recherches ne m'aient pas permis d'entreprendre cette mesure de longueur d'onde, bien que je fusse en possession du phénomène depuis quelques semaines.

» Déjà sa constatation offre des difficultés nombreuses dont on se rend facilement compte en songeant que, d'une part, l'intensité du courant de la bobine et la régularité des interruptions, d'autre part, la direction des rayons, la distance des écrans et celle de la plaque à l'ampoule, la durée de la pose, etc., sont autant de facteurs qui influent sur le résultat et dont il faut tenir compte dans une expérience concluante. C'est probablement par l'absence d'un concours heureux de toutes ces circonstances que s'explique l'insuccès d'autres chercheurs dans cet ordre de faits. »

A cause de l'importance des résultats qu'elle relate, nous avons cru devoir publier immédiatement cette lettre, sans nous dissimuler toutefois que ces résultats sont sujets à critique et auraient besoin d'être confirmés avant d'être admis sans restriction. Les particularités offertes par les trois photographies dont il est question dans cette lettre peuvent s'expliquer tout aussi bien par les effets de plusieurs centres d'émission des rayons X que par une diffraction de ces rayons. En particulier celles que présentent la photographie n° 1 sont tout à fait analogues à celles que l'on peut voir sur les photographies de M. Colardeau (voir la note de la page précédente). Quant à la photographie n° 3 (la plus nette à notre avis) elle présente bien, comme le dit l'auteur, des franges rappelant celles que l'on obtient avec la lumière ordinaire : de part et d'autre d'une branche centrale blanche de 6 à 7 mm de largeur et dont les bords sont estompés se voient une bande noire, une bande blanche, une nouvelle bande noire et une blanche. Mais les diverses bandes blanches pourraient être dues à l'existence de cinq centres d'émission sur la surface du tube de Crookes. La dernière phrase de la lettre de Bangetziano semble, il est vrai, indiquer que dans les expériences définitives toutes les précautions ont été prises pour éviter une mauvaise interprétation des résultats ; il est donc probable que l'auteur, après avoir constaté dès ses premiers essais l'existence de plusieurs centres de radiations, a dû en éliminer les effets dans ses dernières expériences. Toutefois, par suite même de l'importance de la question, nous croyons devoir faire des réserves sur cette démonstration expérimentale de la possibilité de faire interférer les rayons X.

J. B.

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Interrupteur à mercure Elieson.

Ce petit appareil, construit par la maison Ullmann à Paris, présente l'avantage d'une très grande simplicité et d'un maniement facile. Il se compose d'un petit cylindre creux en matière isolante pivotant autour d'un axe horizontal formé de deux vis respectivement reliées aux deux tronçons du circuit que l'on veut ouvrir ou fermer. Dans l'intérieur du cylindre se trouve du mercure en quantité suffisante pour réunir métalliquement les deux

vis quant l'une des extrémités du cylindre est en haut (fig. 1), mais insuffisante pour qu'il en

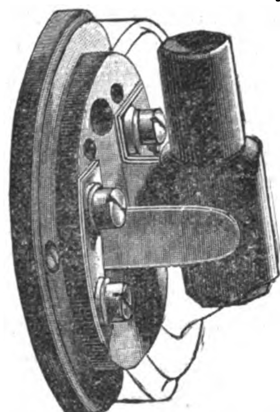


Fig. 1. — Interrupteur Elieson (circuit fermé).



Fig. 2. — Interrupteur Elieson (circuit ouvert).

soit encore de même quand cette même extrémité est tournée vers le bas (fig. 2).

Les tramways électriques de Rouen

A plusieurs reprises nous avons entretenu nos lecteurs de l'important réseau de tramways électriques établi à Rouen (¹) par la Compagnie Thomson-Houston. Rappelons que c'est le 1er février de l'an dernier que la Municipalité de Rouen a adopté le projet présenté par la Compagnie des tramways de cette ville et comportant le remplacement de la traction par chevaux jusqu'alors employée par la traction électrique à trôlet aérien. La Compagnie prenait en outre, conformément aux clauses du cahier des charges, l'engagement de n'imposer à la ville le système des fils aériens que pendant dix années à dater de l'époque de la rétrocession définitive, de faire l'application dans l'intérieur de la ville de tous systèmes nouveaux dûment expérimentés dans d'autres villes de France et, enfin, de terminer les travaux pour le 1er avril 1896.

Puissamment secondée par la Compagnie Thomson-Houston, la Compagnie des tramways de Rouen a largement rempli cette dernière obligation. Dès le milieu de janvier elle mettait en service les premières voitures électriques et le 22 mars dernier avait lieu l'inauguration officielle de l'ensemble du réseau ; aujourd'hui plus de quarante voitures circulent dans les principales artères de la ville et bientôt soixante voitures assureront le service de tout le réseau.

Ce réseau se divise en deux groupes : le réseau ancien, exploité par traction animale au moment de la transformation, comprenant 8 lignes ayant un développement de 25 460 mètres, et le réseau nouveau comprenant 8 autres lignes représentant 11 607 mètres ; l'ensemble forme donc un total d'un peu plus de 37 kilomètres.

Ces lignes se répartissent comme suit :

Nos des lignes	Lignes existantes	Longueurs
		mètres
1	Du Pont de pierre à Maromme......	6646,40
2	De l'Hôtel de Ville à Darnetal......	3477,00
3	De l'Hôtel de Ville à Sotteville.....	3332,70
4	De l'Hôtel de Ville à Quevilly......	3977,70
5	De l'Hôtel de Ville au Jardin des Plantes........................	2877,70
6	Du Pont de pierre à la rue Verte....	1738,90
7	Du Pont de pierre à Saint-Hilaire ..	1503,00
8	De l'Hôtel de Ville au Mont Riboudet	1600,00
	Total des lignes existantes...	25 460,00
Nos des lignes	Lignes nouvelles	Longueurs
		mètres
9	De Saint-Hilaire à la Madeleine...	2873,00
10	De Beauvoisine aux Chartreux.....	3613,00
11	De l'Hôtel de Ville à la route de Lyon.	1342,00
12	De l'Hôtel de Ville à Beauvoisine ..	585,00
13	Prolongement de la ligne n° 6......	939,00
14	De la place Saint-Sever à la rue Tous-Vents..........................	795 00
15	De la Madeleine au Mont Riboudet.	300,00
16	De l'Eglise Saint-Sever à la Cathédrale..........................	1160,00
	Total des lignes nouvelles.	11 607,00
	Total général...	37 067,00

(¹) *Éclairage Électrique*, t. II, p. 288, 9 février 1895. — t. III, p. 96 ; 14 avril 1895. — t. VI, p. 476 ; 7 mars 1896.

Ces différentes lignes partent toutes de la place de la Mairie.

La voie a été entièrement transformée ; elle est en rails Broca de 44 kg par mètre, à l'écartement de 1,44 m. Les courbes sont nombreuses et s'abaissent fréquemment à 20 mètres de rayon. Les rampes atteignent 4,5 et 5 centimètres par mètre. Les rails sont réunis entre eux par de fortes éclisses et un double fil de cuivre terminé par un coin spécial appelé « Chicago rail bond ». Ce fil de connexion a 8 mm de diamètre et porte, à chacune de ses extrémités, une pièce cylindrique beaucoup plus grosse, emboutie. Après avoir introduit les têtes dans les trous des rails, on force une cheville conique d'acier dans le trou axial de la tête et l'on rabat les lèvres de l'ouverture. Le serrage est excessivement énergique et ne peut se modifier. Chaque joint de rail est muni de deux barres de connexion semblables, de sorte que la résistance électrique du joint est annihilée. A de courtes distances les rails d'une même voie sont reliés entre eux d'une façon analogue ; de même les voies parallèles entre elles.

La ligne aérienne est constituée par un fil de cuivre dur de 8,25 mm de diamètre. Ce fil est suspendu axialement au-dessus des voies par des fils d'acier transversaux amarrés à des poteaux métalliques. Les fils d'acier sont isolés à la fois de la ligne aérienne et des poteaux métalliques de sorte que toute dérivation de courant est impossible.

Les poteaux, au nombre de 1 200, sont en tubes d'acier à 4 sections et ont une hauteur de 7 mètres environ au-dessus du sol. La partie inférieure est garnie d'une base en fonte d'un modèle élégant ; les joints des tubes sont recouverts de bagues et leur partie supérieure porte une boule surmontée d'une pointe. Ces poteaux ont reçu une patine vieux bronze qui leur donne un cachet très décoratif.

Sur les quais les poteaux sont à double console et placés dans l'entrevoie, à l'instar du boulevard de Strasbourg au Havre. De deux en deux ces poteaux porteront, au lieu et place de boules métalliques, une lampe à arc. Les lampes ainsi établies sur les quais seront au nombre de 27. L'éclairage obtenu facilitera beaucoup les chargements et les transports des marchandises jusqu'à une heure avancée de la nuit.

Quatre autres lampes à arc seront installées sur le pont Boïeldieu et cinq sur le pont Corneille.

Enfin les poteaux du tramways serviront à supporter 162 lampes à incandescence. réparties dans les rues Jeanne-d'Arc, Thiers, de la République et Lafayette.

Par suite d'un arrangement intervenu entre la Municipalité, la Compagnie des tramways de Rouen et la Société normande d'électricité ces lampes seront alimentées par cette Société.

Il est probable qu'avant peu toutes les voies parcourues par le tramway seront éclairées à l'électricité.

La ligne a été montée avec beaucoup de soin ; les courbes ont été l'objet d'une attention particulière, de sorte que l'installation du tramway électrique, loin de produire un effet disgracieux, concourt à la décoration des rues.

Les feeders employés pour la ligne aérienne ont 200 mm² de section et ont une longueur de 600 mètres. Ils sont fortement isolés au caoutchouc et mis directement en terre. Le premier aboutit place Saint-Sever, le deuxième place de la Mairie, le troisième au Champ-de-Mars, le quatrième suit le long de la Seine jusqu'au boulevard Cauchoise.

Les voitures sont à double plate-forme à marchepied latéral. L'intérieur est divisé en deux classes par une porte à coulisse. Ces voitures contiennent 24 places d'intérieur et 16 de plate-forme.

Le poids des voitures chargées est de 7 tonnes ; leur longueur totale est de 8 mètres.

Les trucks, d'une forme nouvelle, ont été construits aux ateliers de la Compagnie française Thomson-Houston, par la Société des Etablissements Postel-Vinay. Ils sont très légers tout en étant très robustes ; le réglage

et le changement des pièces susceptibles de se détériorer sont des plus faciles.

L'équipement des voitures, c'est à dire tout le matériel électrique en dehors des moteurs, se compose du trôlet, de sa perche et de sa base, du contrôleur, des résistances additionnelles, des coupe-circuits, des parafoudres, des lampes et des câbles.

La roue du trôlet est une poulie en bronze à gorge profonde et à coussinets en graphite; elle est mobile autour d'un axe fixé sur une fourche à l'extrémité d'une perche métallique emmanchée dans une douille faisant partie de la base. A Rouen, on a fait usage d'une nouvelle base de trôlet présentant l'avantage de permettre à la perche de se maintenir toujours verticalement lorsqu'elle est libre, et de pouvoir être inclinée en avant ou en arrière à volonté. Elle se compose de deux ressorts à boudin de 45 centimètres de longueur, guidés par un tube et maintenus entre une butée et un tampon à oreille pouvant glisser sur le tube-guide. Deux tiges passent dans les oreilles; elles sont maintenues d'un côté par des écrous et de l'autre s'accrochent à l'extrémité du petit bras d'un levier, dont l'autre est la perche, et mobile autour d'un axe très près de la base. La perche, en s'inclinant, tire les tiges du côté où elle s'abaisse et comprime le ressort à boudin.

Le contrôleur employé à Rouen est celui séries-parallèle, type K^2. Il diffère de celui employé au Havre par l'addition d'une résistance qui rend le démarrage plus doux. Un système particulier de blocage ne permet pas d'envoyer le courant dans les moteurs tant qu'une petite manette est dans la position de repos; cette même manette permet de passer de la marche avant à la marche arrière sans changer le sens de rotation de la manivelle du contrôleur.

Les résistances additionnelles sont placées sous la voiture. Elles se composent de bandes métalliques minces pressées entre des bandes analogues de carton d'amiante et maintenues par des cales en porcelaine dans un cadre en fonte. Elles sont par suite incombustibles.

Les coupe-circuits sont constitués par une lame d'alliage très fusible serrée entre des mâchoires et disposée au-dessus d'un électro-aimant. Quand le courant traversant les moteurs est trop intense, la lame de métal fond, et l'arc formé est vivement soufflé par le champ magnétique de l'électro-aimant.

Les parafoudres et l'interrupteur principal sont également à soufflage magnétique.

Les lampes à incandescence servant à l'éclairage des voitures sont au nombre de 5; le courant qui les alimente est dérivé du courant principal avant les appareils de contrôle et de réglage, et retourne directement par l'ossature métallique du truck aux roues et à la voie.

Le courant recueilli par la roulette du trôlet passant sous la ligne aérienne, chemine par la perche métallique, la base du trôlet, un câble reliant cette base à l'interrupteur principal, puis traverse le parafoudre, les coupe-circuits, le contrôleur, les appareils de réglage, les moteurs, le truck, les roues et la voie.

Les moteurs sont au nombre de deux par voiture; ils sont du type G. E. 800 forme B à faible vitesse angulaire. Ces moteurs sont complètement enfermés dans une boite en acier coulé, de sorte qu'ils sont à l'abri de la poussière et de l'humidité. L'induit attaque l'essieu des roues par une seule paire d'engrenages baignant dans l'huile.

Le poids des moteurs est de 660 kilogrammes et leur puissance de 25 chevaux.

On peut accéder très facilement aux moteurs par des trappes ménagées dans le plancher de la voiture. Pour les visiter il suffit de faire basculer la partie supérieure de la boite du moteur autour de sa charnière, et mettre ainsi l'induit à découvert.

Les moteurs reposent sur des trucks par l'intermédiaire de tampons en caoutchouc; les trucks étant déjà suspendus par rapport aux boites à graisse, les moteurs se trouvent avoir, comme les caisses, une double suspension élastique.

Outre l'équipement électrique, les voitures

portent, à côté du contrôleur, une manivelle à cliquet commandant quatre freins à sabot. Les déclivités n'étant pas très considérables à Rouen, il n'est pas nécessaire d'employer d'autres système de freins.

Enfin les voitures sont munies à l'avant et à l'arrière des feux de position à pétrole et d'une trompe d'appel.

L'usine électrique, ou station centrale, est établie sur la rive gauche de la Seine, rue Lemire à peu de distance du fleuve.

Cette station comporte actuellement trois unités génératrices, indépendantes, composées d'une machine Corliss-Farcot et d'une dynamo de 200 kilowats hyper-compoundée pour 550 volts à pleine charge et 500 volts à vide, commandée directement par courroie.

Les principales données des dynamos MP-4-200-425 sont :

Puissance normale.	200 kw.
Vitesse angulaire.	425 t. :m.
Poids de la machine sans poulie.	9 900 kg.
Longueur maxima.	3 360 m m.
Largeur maxima . , ...	1 800 —
Hauteur maxima	1 970 —

Les machines Corliss-Farcot sont à un seul cylindre de 650 mm de diamètre et 1 300 de longueur ; elles sont munies d'un volant de 7 mètres de diamètre ; leur vitesse angulaire est de 70 tours par minute.

Par suite de l'augmentation du nombre des voitures, qui est déjà porté à 60 et qui sera accru avant peu, les dynamos de 200 kilowats, qui étaient grandement suffisantes, seront prochainement remplacées par d'autres de 300 kilowatts ; les machines à vapeur ne seront pas changées.

Les chaudières sont actuellement au nombre de trois ; une quatrième est en cours d'installation. Leur surface de chauffe est de 160 m^2. Elles sont du type Babcock et Wilcox. A la suite des chaudières on a disposé un économiseur Green.

L'eau de condensation est refoulée dans un réfrigérant à jets, système Sée, au moyen d'une pompe mue par un moteur Volta à 500 volts.

Le tableau de distribution se compose de trois panneaux pour les dynamos et de trois autres panneaux différents pour les feeders.

Les panneaux des génératrices comportent un interrupteur automatique forme K, un ampèremètre apériodique Weston, deux interrupteurs principaux à rupture brusque, un petit interrupteur de champ analogue et un rhéostat de champ dont seul le volant de commande se trouve sur la face antérieure du tableau ; enfin une prise de courant pour relier chaque dynamo à un voltmètre Weston à grand cadran lumineux.

L'interrupteur automatique forme K se compose essentiellement d'un solénoïde de forte section actionnant une palette de fer contrebalancée par un ressort réglable et reliée par un système de levier à un déclancheur qui, d'une part, applique fortement un pont formé de lames de cuivre minces contre deux larges barres et, d'autre part, force une lame entre deux mâchoires ; ces deux systèmes de contact sont montés en dérivation l'un sur l'autre, mais la combinaison des leviers est telle qu'au moment de la rupture le pont rompt son contact avant la lame forcée entre les deux mâchoire, de sorte que c'est ce dernier contact qui souffre de la rupture, tandis que l'autre reste toujours indemne. La rupture du circuit se produit dans le champ d'un puissant électro-aimant qui souffle violemment l'arc. Quand on ferme le circuit en agissant sur une poignée solidaire des leviers, la pièce de mauvais contact s'engage d'abord, puis le pont vient s'appliquer sur les barres et assure une continuité parfaite.

Les panneaux des feeders comportent un interrupteur automatique semblable pour deux feeders, un ampèremetre apériodique Weston pour chaque feeder, un interrupteur rapide à main et un parafoudre.

Tous ces appareils sont fixés sur des plaques en ardoises vernies montées sur des cornières en fer.

J. R.

Pompe électrique portative et régulateur hydraulique de démarrage Fabius Henrion.

Dans la plupart des travaux exigeant l'emploi de pompes, il est souvent utile et quelquefois absolument nécessaire de déplacer celles-ci au fur et à mesure de l'avancement des travaux. L'utilisation de l'énergie électrique est alors tout indiquée. Pour cette utilisation la Maison Fabius Henrion, de Nancy construit l'appareil que représente la figure 1 et qui est formé d'une pompe rotative accouplée directement à un moteur électrique ; par sa légèreté relative et sa solidité, cet ensemble répond parfaitement au but proposé.

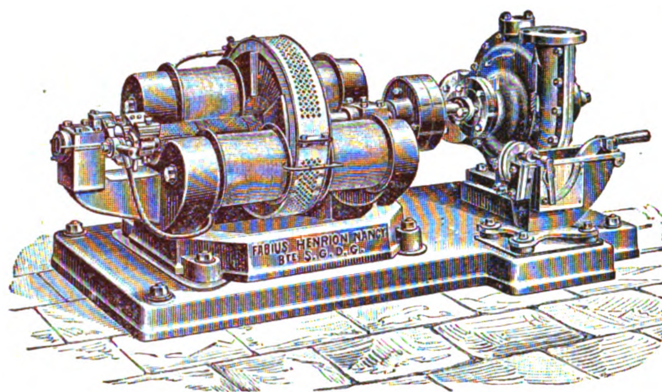


Fig. 1. — Pompe rotative Fabius Henrion avec son moteur et le régulateur hydraulique de démarrage.

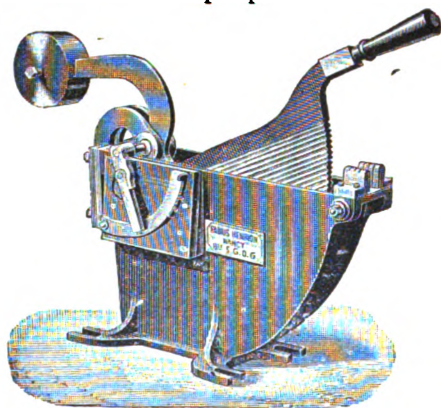


Fig. 2. — Régulateur hydraulique de démarrage.

La mise en marche et l'arrêt sont obtenus à l'aide d'un régulateur hydraulique placé sur le même bâti que le moteur et la pompe. Ce régulateur que l'on aperçoit sur la gauche de la figure 1 et que la figure 2 représente à une plus grande échelle, se compose d'une auge métallique contenant un liquide daus lequel plonge une lame métallique striée, portant, d'un côté un manche isolant et, de l'autre côté, un contrepoids qui l'équilibre dans toutes ses positions. L'auge et la lame sont isolées électriquement ; cette dernière est reliée à l'une des bornes du moteur ; l'auge à l'un des pôles de la génératrice dont l'autre pôle est relié directement à la seconde borne du moteur. Quand on enfonce la lame dans le liquide, le courant passe à travers celui-ci et son intensité augmente à mesure que l'immersion devient plus profonde ; on peut ainsi mettre en marche aussi doucement qu'on le veut. Inversement, en soulevant brusquement la lame, on peut obtenir un arrêt rapide. Un dispositif spécial produit automatiquement l'excitation du moteur avant que le courant principal ne le traverse et coupe automatiquement le courant d'excitation dès que le courant principal est coupé lui-même.

J. R.

Méthode du docteur Jacques pour obtenir l'électricité directement du charbon.

La conversion directe du charbon en électricité sans l'aide de machines à vapeur et dynamos est depuis longtemps étudiée des électriciens du monde entier. La méthode proposée par le Docteur Jacques consiste à produire l'oxydation du charbon ou de toute autre matière riche en carbone en présence d'un électrolyte ; l'énergie chimique de la combinaison se transforme alors en énergie électrique au lieu d'être transformée en énergie calorifique comme dans la combustion ordinaire ; l'électrolyte choisi est une solution concentrée de soude caustique.

La figure 1 montre la disposition de l'appa-

reil. Le charbon C est plongé dans la solution de soude caustique E, une pompe A envoie l'air dans une crépine R qui distribue l'air uniformément dans l'électrolyte ; le pôle positif est fixé sur le récipient en fer contenant la solution I et le pôle négatif sur le charbon C qui est supporté et isolé du réci-

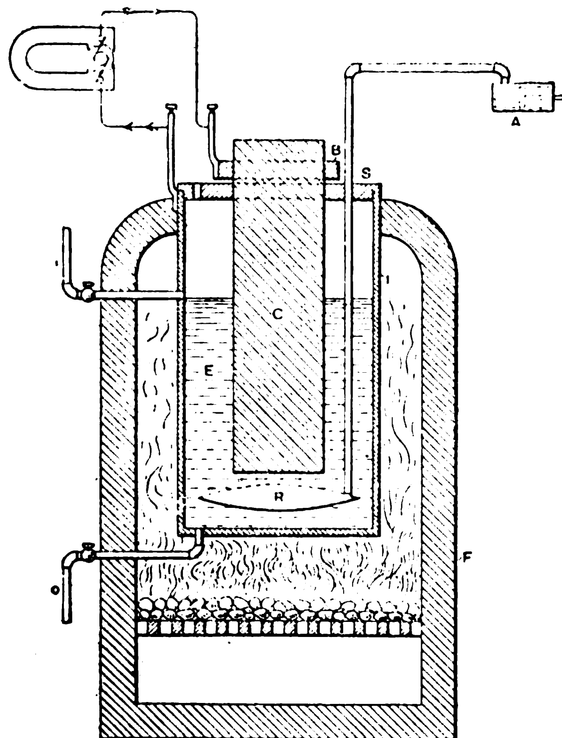


Fig 1.

pient par un collier S ; deux tuyaux *o* et *i* servent pour l'admission et l'évacuation de la solution ; le tout est placé dans un fourneau qui maintient la température du bain de 400° C à 500° C.

Dans ces conditions, le charbon est graduellement converti en anhydride carbonique qui s'échappe en bulles ; la composition de l'hydrate de sodium n'est pas modifiée ; l'azote devenu libre et n'ayant aucune affinité pour les autres corps présents s'échappe en même temps que le gaz carbonique.

Toutefois, une certaine quantité de ce dernier gaz se combine avec une partie de la soude caustique et forme du carbonate de sodium qui en se mélangeant avec les cendres du charbon contamine l'électrolyte et amoindrit son efficacité. On remédie à cet inconvénient en évacuant, à l'aide des deux tuyaux *i* et *o* une partie de la solution épuisée pour la remplacer par même quantité de nouvelle.

On peut aussi réduire l'altération de l'électrolyte et prolonger sa durée, en y ajoutant une faible quantité d'oxyde de magnésium. D'après le Docteur Jacques, l'anhydride carbonique libre se combine de préférence avec cet oxyde qu'avec la soude caustique et le carbonate de magnésium ainsi formé est ensuite décomposé en gaz carbonique qui s'échappe, et en oxyde de magnésium qui redevient apte à recommencer son action.

Quant aux constantes de cette pile, l'auteur n'en dit mot ; il paraît cependant qu'elle fournit un courant assez intense mais que sa force électromotrice est très faible.

L. D.

Expériences avec un nouveau photochronographe polarisant, appliqué à la mesure de la vitesse des projectiles, par A. Cusing Crehore et G. Owen Squier (¹).

La rotation qu'éprouve le plan de polarisation d'un faisceau lumineux en traversant un tube à sulfure de carbone entouré d'un solénoïde parcouru par un courant a déjà été appliquée par M. Crehore à l'inscription de la variation d'intensité d'un courant (²). La nouvelle application qu'en fait l'auteur, en collaboration avec M. Squier, à la mesure de la vitesse des projectiles se conçoit immédiatement par le schéma de la figure 1.

Dans ce schéma F est une fente qui laisse passer un faisceau de lumière traversant successivement un nicol polariseur P, un tube T rempli de sulfure de carbone, un nicol analyseur A et enfin une lentille L qui fait converger ce faisceau sur un disque D, recouvert d'une plaque photographique et enfermé dans

(¹) *Journal of the United States Artillery*, t. IV, p. 409 ; 1895.

(²) *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 337 ; 22 février 1895.

une boîte B munie d'une fenêtre pour le passage du faisceau.

Le canon est représenté en *c*. En avant sont disposés des fils métalliques *a a'*, faisant partie d'un circuit comprenant une pile M, un galvanomètre G et le solénoïde entourant le tube à sulfure de carbone. Ces fils sont coupés par le projectile à son passage et servent à l'enregistrement de la vitesse de ce projectile. A cet effet, entre les fils *a a'* sont placés des interrupteurs *c* formés de deux ressorts tendant à se rapprocher l'un de l'autre et séparés par une pièce isolante *b* fixée à l'extrémité d'un fil tendu par un poids *b'*.

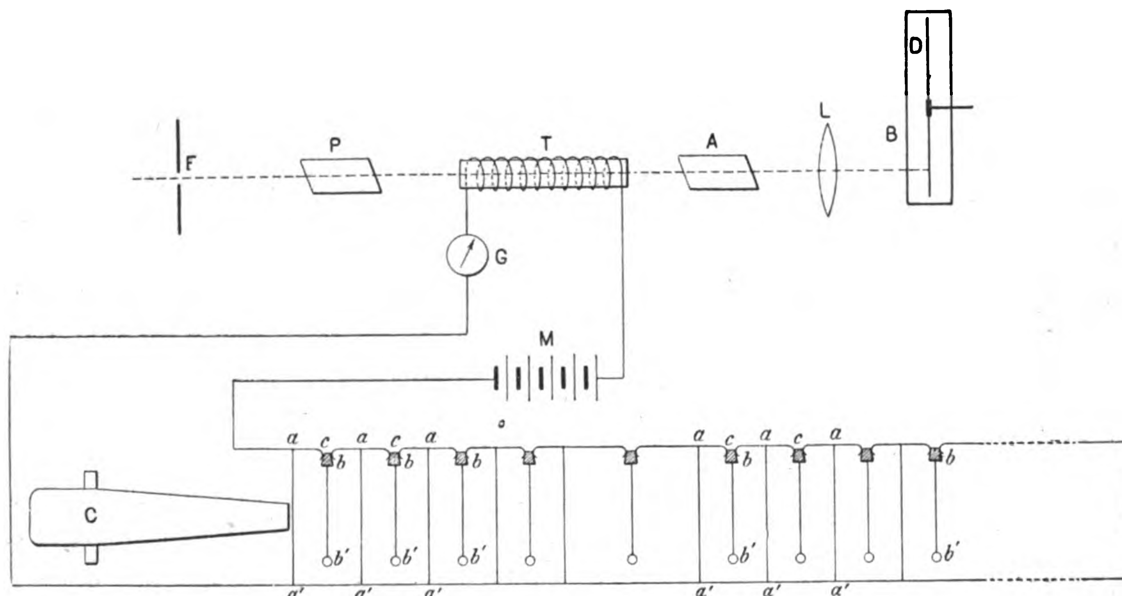


Fig. 1. — Photochronographe polarisant appliqué à la mesure de la vitesse des projectiles.

Au début le circuit se trouve donc fermé par le premier fil *a a'*; il est rompu au moment du passage du projectile jusqu'à ce que celui-ci, en faisant tomber la pièce isolante *b*, produise la fermeture du circuit par le second fil *a a'*. On a ainsi une série de ruptures et de fermetures du courant produisant une série de variations dans la position du plan de polarisation du faisceau tombant sur l'analyseur et, par suite, une série de variations d'intensité du faisceau sortant de l'analyseur.

Pour faire une mesure on dispose l'analyseur et le polarisateur à l'extinction et l'on donne au disque D une vitesse de rotation connue (12 à 13 tours par seconde). A chaque rupture d'un des fils *a a'* la lumière reparaît et impressionne la plaque photographique. La distance angulaire des taches ainsi obtenues fait connaître le temps employé par le projectile pour parcourir la distance séparant deux fils consécutifs.

Les auteurs ont aussi mesuré des vitesses de 1 600 pieds par seconde, et constaté que le maximum de la vitesse du projectile n'est atteint qu'un peu au delà de la bouche du canon.

J. B.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Société française de Physique.

Séance du vendredi 17 avril 1896.

La séance débute par une communication de M. Broca sur l'*Eclairage à combustion complète, système Bandsept*.

M. Broca fait observer que dans les brûleurs Bunsen ordinaires l'air entraîné par le

gaz n'est pas suffisamment bien mélangé au gaz pour donner une flamme homogène. Pour rendre ce mélange plus parfait, M. Bandsept dispose au-dessus de l'orifice étroit par lequel s'écoule le gaz d'éclairage trois cônes tronqués superposés dont les bases s'appuient sur les parois de la cheminée du brûleur. Ces parois sont percées de trois rangées de trous correspondant aux trois cônes et qu'on peut obturer plus ou moins au moyen d'une virole, de manière à mélanger au gaz la quantité d'air suffisante pour obtenir une combustion complète. Le sommet de la cheminée porte deux toiles métalliques dont les mailles sont disposées en chicane pour rendre pratiquement parfaite l'homogénéité du mélange gazeux.

On obtient ainsi une température plus élevée qu'avec le brûleur Bunsen et, si l'on place dans la flamme un manchon Auer, on obtient un degré d'incandescence remarquable, beaucoup plus grand que celui que produit un bec Auer tout en donnant lieu à une dépense de gaz moins considérable.

Il résulte des expériences photométriques de M. Broca qu'avec une pression de gaz de 45 mm d'eau, qui est celle que l'on a dans la journée à Paris, l'emploi d'un brûleur Bandsept procure une économie de 25 à 33 pour 100 sur la dépense occasionnée par un brûleur Auer donnant la même quantité de lumière. Lorsque la pression atteint 90 mm d'eau, pression qui est celle de la soirée, l'économie est beaucoup plus grande : elle varie de 50 à 60 pour 100.

Ces résultats ont évidemment un intérêt pratique des plus grands et de nature à amener la substitution des brûleurs Bandsept à ceux qui sont actuellement employés pour la production de l'incandescence par le gaz.

Que deviendra dans ces conditions, l'éclairage par incandescence électrique, qui déjà lutte péniblement contre l'éclairage par incandescence par le gaz ? Il serait difficile de se prononcer pour l'instant, mais il serait très désirable que les recherches entreprises depuis l'apparition du manchon Auer pour l'application des oxydes incandescents aux lampes électriques à incandescence fussent enfin couronnées de succès.

M *Pellat* présente ensuite de la part de M. *Silvanus P. Thompson*, venu récemment à Paris pour assister aux séances de Pâques de la Société de Physique, *quelques observations sur les rayons X*, qui ont fait l'objet d'une communication à l'Académie des sciences reproduite dans le dernier numéro de ce journal (p. 131).

M. Pellat décrit le tube focus fort employé actuellement en Angleterre et dont un spécimen, construit par M. Chabaud, est mis sous les yeux de la Société. Ce tube, en forme de poire, est muni à l'une de ses extrémités d'une cathode légèrement concave qui fait converger les rayons cathodiques sur une lame de platine recouverte d'un mélange d'émail et de sulfure de baryum, lame que M. Thompson appelle anticathode et qui peut, pour la simplicité de la construction du tube, servir d'anode. Cette lame sert de centre de radiation aux rayons X.

M Pellat, insiste ensuite sur la nécessité d'avoir dans le tube un vide convenable pour obtenir le maximum d'effet. D'après M. S. Thompson le meilleur moyen d'obtenir ce vide est de faire d'abord un vide beaucoup trop parfait pour que la décharge puisse passer, puis de laisser rentrer de l'air et de faire de nouveau le vide et de recommencer à plusieurs reprises ces deux dernières opérations. On arrive ainsi à obtenir des effets assez puissants pour pouvoir photographier une main avec une pose de 30 à 50 secondes.

M. Pellat, après avoir fait projeter plusieurs épreuves obtenues par M. S. Thompson, effectue la photographie d'une main au moyen du tube focus qu'il a décrit.

M. *Chappuis* fait observer que ces faibles durées de pose n'ont rien d'extraordinaire. Il rappelle que dès le début des recherches sur les rayons X la Société de physique était informée que M. Dufour parvenait à obtenir une photographie en une minute et que M. Joubin

obtenait le même résultat en 30 secondes. De son côté il a pu encore réduire de beaucoup la durée de pose.

Il emploie une bobine de Ruhmkorff munie d'un interrupteur Foucault; celui-ci étant tenu à la main pour l'empêcher d'osciller, on ferme le commutateur de la bobine et l'on fait plonger une seule fois les pointes de l'interrupteur dans les godets; il se produit une fluorescence du tube de Crookes ne durant qu'une très faible fraction de seconde, mais qui suffit cependant pour obtenir des photographies très nettes d'objets métalliques, tels que des médailles. Une ou deux secondes suffisent pour produire la photographie d'une main placée à 20 cm du tube.

M. Chappuis fait ensuite projeter plusieurs photographies. L'une d'elles est celle d'une cobaye sur le point d'accoucher où l'on voit nettement les squelettes des quatre petits qu'elle portait. Une autre est celle d'un fœtus humain de sept mois et demi enfermé dans la matrice, dont l'épaisseur était de 18 cm; la position du fœtus est néanmoins très facilement observable et M. Chappuis ne doute pas qu'on puisse réussir à photographier l'intérieur d'un bassin humain.

Il termine par l'exposé de ses recherches en cours d'exécution, avec la collaboration de M. Chauvel, sur la photographie des calculs. Les calculs de la vésicule biliaires sont perméables aux rayons X et donnent une image se détachant en clair; ceux du rein, qui contiennent des phosphates, sont au contraire imperméables et donnent une ombre foncée.

M. *Colardeau*, décrit une *nouvelle forme de tube de Crookes permettant d'obtenir*, *avec les rayons X, des photographies d'une grande netteté*.

Le passage du courant dans les tubes de Crookes destinés à la photographie par les rayons X, produit, comme on sait, une altération rapide du degré de vide efficace dans ces appareils. C'est cette raison qui a conduit les constructeurs à donner actuellement à ces ampoules de très grandes dimensions.

M. E. Colardeau montre qu'il en résulte de grands inconvénients pour la netteté des images photographiques que ces tubes sont destinés à fournir. En s'appuyant, soit sur des faits établis et bien connus, soit sur les résultats d'expériences qu'il a effectuées avec des tubes de formes appropriées, il fait comprendre que pour qu'une ampoule de Crookes fournisse une ombre photographique nette, c'est à dire présentant une pénombre aussi étroite que possible, il est utile que ce tube satisfasse aux trois conditions suivantes :

1° La cathode (qui est supposée plane) doit être de dimensions restreintes ;

2° Le faisceau de rayons cathodiques qui s'en échappe normalement, doit être coupé, par la paroi du tube, à une faible distance de la cathode ;

3° La cathode doit avoir sensiblement le même diamètre que le tube de manière à former une sorte de cloison le partageant en deux compartiments. Par cette disposition, il n'y a guère que la face de la cathode qui est située du même côté que l'anode, qui émet des rayons cathodiques. On a ainsi l'avantage d'éviter la double région d'émission des rayons X que donnent un grand nombre d'ampoules et de concentrer sur la seule région active conservée, la presque totalité de la radiation cathodique.

M. Colardeau a construit, d'après ces données, un tube de Crookes cylindrique, de très faible diamètre, contenant une cathode de même diamètre, assez profondément enfoncée dans ce tube pour ne se trouver qu'à une très faible distance de la paroi anticathodique. Les dimensions du tube, en vraie grandeur, ne dépassent pas celles d'une cigarette ordinaire.

Comme la très faible capacité d'un pareil tube donnerait lieu à une altération très rapide de son degré de vide efficace, il est utile, pour le rendre pratique, de lui souder latéralement une ampoule assez volumineuse avec laquelle il communique et qui évite cet inconvénient.

M. Colardeau présente plusieurs photogra-

phies des mêmes objets obtenues avec des tubes de formes et de dimensions diverses et qui ne laissent aucun doute sur l'augmentation de netteté que l'on obtient avec son appareil.

Sur l'action mécanique émanant des tubes de Crookes, par J.-R. Rydberg ([1]).

« Dans le numéro 6 (10 février 1896) des *Comptes rendus*, MM. Gossart et Chevallier ont montré que, dans le voisinage d'un tube de Crookes, un radiomètre mis en mouvement par une chaleur étrangère se cale devant le tube, avec une orientation bien fixe, après des oscillations pendulaires ([2]).

» Les résultats de ces recherches offrent un intérêt particulier, parce qu'ils semblent indiquer une méthode exacte de mesurer l'intensité de rayonnement, si l'on peut démontrer que les actions mécaniques observées ont la même origine que les actions photographiques.

» J'ai donc répété les expériences citées et j'ai obtenu les mêmes résultats. Mais, en employant un pendule électrique ordinaire, pour voir s'il serait possible de produire ces phénomènes dans l'air à la pression ordinaire, j'ai constaté que toutes les actions observées sur le radiomètre tiraient leur origine de la couche bien connue d'électricité positive avec laquelle la surface extérieure anticathodique du tube de Crookes est couverte pendant la décharge. Le calage du radiomètre, les oscillations pendulaires autour d'une position d'équilibre, l'influence de la distance du tube sur la force exercée se montrent absolument identiques avec les actions qu'on observe en approchant du radiomètre un conducteur chargé positivement d'une forme ressemblant à celle du tube.

» Quant à la perméabilité pour les actions mécaniques, les corps signalés comme transparents sont des diélectriques, et les corps opaques sont de bons conducteurs, lesquels n'étant pas isolés du sol ont empêché l'influence de la couche électrique du tube sur les ailettes métalliques du radiomètre. En renfermant le radiomètre dans un cylindre de Faraday, formé d'une feuille d'étain mince qui n'arrête pas l'action photographique, on trouve que le rayonnement du tube n'y produit pas plus d'action mécanique que ne le fait, dans les mêmes conditions, un conducteur chargé d'électricité. Dans ces circonstances, il m'a été possible d'obtenir des photographies de Roentgen à travers un radiomètre sans y apercevoir la moindre trace des actions mécaniques.

» La persistance du calage du radiomètre, après que le courant a été interrompu, tire évidemment son origine de la même source, la charge électrique du verre ne se perdant que lentement dans l'air ambiant. En ôtant, d'une manière quelconque, la charge extérieure du tube, on trouve que l'action sur le radiomètre disparaît instantanément, si l'influence n'a pas duré assez longtemps pour induire des couches électriques sur les parois du radiomètre.

» Toutes les modifications que subit, d'après les auteurs, le champ de force mécanique par des aimants, des courants électriques etc., s'expliquent également par les variations du champ électrique par l'introduction des corps conducteurs. Un aimant n'agit donc que dans cette qualité, aucune différence n'étant perceptible entre les actions des deux pôles.

» De tous ces faits nous concluons que les phénomènes observés par MM. Gossart et Chevallier *sont dus à l'influence de la couche d'électricité positive de la surface extérieure du tube sur les ailettes métalliques du radiomètre et n'ont rien à faire avec les rayons de Roentgen.* »

([1]) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 715; 23 mars 1896.
([2]) *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 375.

Origine des rayons de Roentgen, par Jean Perrin ([1])

« Le professeur Roentgen a dit, dans son Mémoire, que les rayons X n'émanent pas des électrodes, mais des régions où les rayons

([1]) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 716; 23 mars 1896.

cathodiques frappent la paroi du tube à vide. Même, en prenant une paroi d'aluminium, il a prouvé que la fluorescence visible est inutile. Pourtant, l'accord ne s'est pas fait, et des résultats d'apparence contradictoire ont été récemment publiés. J'ai donc tenté de nouvelles expériences à ce sujet. Elles montrent que les rayons X se développent effectivement sur les parois *internes* du tube, plus généralement aux points où un obstacle quelconque arrête les rayons cathodiques, et pas en d'autres points.

» J'ai employé le dispositif de la chambre noire.

» Un trou de petit diamètre (1 mm), percé dans une plaque de laiton, située à quelques centimètres du tube, permettait d'obtenir l'image des régions actives sur une plaque photographique placée au delà.

» Je vérifiai d'abord ainsi que les parties utiles de la plaque sont bien celles que frappent les rayons cathodiques.

» Puis je disposai sur le trajet de ces rayons un obstacle en aluminium de forme simple (étoile ou croix); l'image de cet obstacle apparut très intense. Elle n'apparut pas lorsque, au moyen d'un aimant, on empêcha les rayons cathodiques de tomber sur l'obstacle.

» Cet obstacle pouvait d'ailleurs être pris comme anode : cela ne changea rien à aucun de ces deux résultats.

» L'expérience réussit également bien avec des corps moins perméables aux rayons X que l'aluminium et le verre, tels que le cristal et le platine. Pour le montrer, j'ai construit un tube en verre transparent aux rayons X, et, à l'intérieur de ce tube, je plaçai un obstacle mi-partie en platine, mi-partie en cristal. Naturellement la plaque photographique fut disposée de manière à recevoir les rayons X émis par celle des faces de l'obstacle que frappaient les rayons cathodiques. Les images obtenues furent encore nettes et très intenses.

» Dans aucune de ces expériences, la cathode ne donna son image.

» En résumé, *aux points où une matière quelconque arrête les rayons cathodiques, se développent des rayons de Roentgen*, et il ne paraît pas s'en développer en d'autres points.

» Ces rayons divergent dans toutes les directions; seulement certaines substances, telles que le cristal, les absorbent rapidement ; on comprend ainsi pourquoi les tubes en cristal ont un rendement faible, quoique la production y soit intense. Toute l'importance pratique de tubes à fluorescence verdâtre résulte de la transparence du verre dont ils sont formés (¹). »

Recherches concernant les propriétés des rayons X, par le Prince B. Galitzine et A. de Karnojitzky (²)

« En poursuivant, avec de nouveaux tubes de Crookes, de formes diverses, les recherches que nous avons déjà soumises à l'Académie, nous avons obtenu de nouvelles photographies d'après lesquelles les centres d'émission des rayons X sont nettement caractérisés.

» D'après l'ensemble de nos recherches, l'existence, dans quelques cas, d'un centre d'émission d'origine anodique semble être mise désormais hors de doute. On observe en outre quelquefois que, si l'on intervertit l'anode et la cathode, le nouveau centre anodique se produit là où se trouvait auparavant le centre cathodique, mais ce dernier est toujours plus intense.

» Pour expliquer l'ensemble des faits observés, nous avons, dans notre Note précédente, proposé l'hypothèse des foyers, qui semble bien correspondre à tous les détails de nos expériences et qui, d'ailleurs, est d'accord avec ce fait, que les centres d'émission se trouvent d'ordinaire dans le voisinage de l'endroit où le verre du tube de Crookes devient fortement fluorescent, vu que c'est précisément là que l'action des rayons cathodiques se concentre. C'est cette hypothèse qui nous paraît offrir le plus de vraisemblance....

» Il se présente une autre question. Les

(¹) Travail fait au laboratoire de physique de l'École Normale.

(²) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 718, 23 mars.

rayons X correspondent-ils à des vibrations longitudinales ou à des vibrations transversales? Cette question pourrait être tranchée si l'on pouvait démontrer qu'ils se polarisent.

» Les premières recherches que nous avons entreprises à ce sujet ont échoué. Nous avons alors fait préparer trois petites plaques de tourmaline très minces (environ 0,5 mm d'épaisseur). Sur la plus grande se posaient les deux autres, une parallèlement et l'autre perpendiculairement à la première. S'il y a polarisation là où les plaques sont croisées, on doit s'attendre à voir l'action des rayons X affaiblie. Il va sans dire que l'action de la lumière ordinaire a été exclue et qu'on a changé plusieurs fois la position relative des petites plaques, afin d'éliminer toute influence d'inégale épaisseur ou de manque d'homogénéité. Dans les huit épreuves obtenues, on peut distinguer que là où les plaques ont été croisées l'action photochimique des rayons X a été moindre (¹).

» On peut en conclure que les rayons X se polarisent et, par suite, qu'ils correspondent à des vibrations transversales. »

Sur la réduction du temps de pose dans les photographies de Roentgen, par Georges Meslins (²).

« J'ai l'honneur de communiquer à l'Académie, au sujet des rayons de Roentgen, un perfectionnement qui permet de réduire encore, dans des proportions notables, la durée de la pose. Il consiste à se servir d'un électro aimant, ou même d'aimants permanents, pour créer un champ magnétique perpendiculaire aux rayons cathodiques dans l'intérieur du tube. Par ce procédé, on déplace et l'on concentre en même temps la tache fluorescente d'où émanent les rayons X. On obtient ainsi un double avantage.

» En premier lieu, on condense la tache active en face du diaphragme circulaire, de façon à faire passer la totalité des rayons primitivement disséminés sur la calotte de verre ; on augmente donc l'intensité sans diminuer la netteté. En second lieu, on peut alors, dans les différentes expériences, utiliser successivement les diverses régions du tube : ce résultat a une certaine importance, car, lorsqu'on emploie toujours la même région, la tache qui était d'abord verte devient peu à peu jaunâtre, au fur et à mesure qu'il se forme un léger dépôt brun qui finit par rendre cette région inactive ; on peut, au contraire, en déplaçant très peu l'électro-aimant, utiliser chaque fois une partie nouvelle (¹).

» Par ce procédé, on peut se contenter d'ouvrir et de fermer presque aussitôt le courant inducteur, lorsqu'on veut obtenir la silhouette d'objets métalliques ; mais lorsqu'il s'agit de parties où l'opposition est moins tranchée, comme la chair et les os, il est nécessaire d'avoir une pose un peu plus longue, quoique fort réduite ; c'est ainsi que nous avons obtenu en vingt-cinq secondes la silhouette des os de la main, assez nettement pour qu'on puisse y voir la trace d'une fracture à la dernière phalange d'un doigt ; or, la personne sur laquelle nous avons opéré s'est rappelée qu'il lui était arrivé, il y a trois ans, un accident qui a d'ailleurs laissé une cicatrice extérieure encore visible ; elle avait eu le doigt pris dans un engrenage et la blessure avait provoqué la chute de l'ongle (²).

(¹) Pour renforcer ces épreuves, nous avons eu recours à M. Bourinsky, qui a récemment indiqué une méthode ingénieuse pour renforcer les négatifs faibles, méthode basée sur le principe de la superposition des pellicules (voir *Bulletin de l'Académie impériale des Sciences de Saint-Pétersbourg*, nº 4, avril 1895). La différence des teintes a été mise ainsi hors de doute, comme on peut le voir sur les épreuves que nous avons l'honneur de soumettre à l'Académie.

(²) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 719; 23 mars.

(¹) Pour explorer le champ autour des tubes de Roentgen, j'emploie un *photomètre* dont la description paraîtra prochainement dans le *Journal de Physique* ; il permet de mesurer en unités fixes l'éclairement en rayons X. Je l'ai utilisé pour vérifier la loi du carré des distances.

(²) Ces expériences ont été faites à la Faculté des Sciences de Montpellier, avec l'aide de mon préparateur M. Chaudier.

Double réfraction des rayons électriques, par K. Mack (1).

L'auteur complète la description des expériences qu'il a instituées pour démontrer la double réfraction des rayons électriques (2).

Les rayons émanent d'un excitateur semblable à celui de Hertz, mais de dimensions plus petites ; sa longueur totale n'est que de 12 cm.

Il est placé sur la ligne focale d'un miroir parabolique, haut de 40 cm, large de 32 et possédant une distance focale de 5,6 cm ; le résonateur est formé de deux tiges de laiton, longues de 16 cm et qui sont placées sur la ligne focale d'un miroir parabolique pareil au précédent. Ces tiges communiquent avec un micromètre à étincelles placé derrière le miroir. Malgré ces dimensions réduites, on observe encore un flux d'étincelles très net quand les deux miroirs sont placés en regard l'un de l'autre à 2 mètres de distance, avec leurs axes parallèles. La longueur d'onde des radiations observées est de 32 cm environ.

Dans un autre appareil, les dimensions de l'excitateur sont celles de l'appareil de Hertz, donnant une longueur d'onde de 66 cm ; mais les dimensions du miroir et des tiges du résonnateur sont diminuées, les rayons sont encore appréciables à 7 ou 8 m. de distance.

Pour étudier la perméabilité du bois aux rayons électriques, on dispose sur le trajet des rayons, entre les deux miroirs, des planches de bois sciées parallèlement aux fibres. On forme de ces planches une pile qui présente une épaisseur de 110 cm, dont 56 cm en bois de sapin, 20 cm en bois de hêtre, 20 cm en bois de chêne et 16 cm en bois d'érable. Toutes les planches ont la forme d'un octogone régulier ayant 30 cm d'apothème.

Quand les lignes focales des miroirs sont verticales, et que les planches sont interposées entre eux, de manière que les fibres soient horizontales, on observe encore de vives étincelles au micromètre, mais si on tourne les planches de 90° de manière que les fibres soient verticales le flus d'étincelles sans s'interrompre devient très faible.

Dans son premier mémoire, M. Mack attribuait cet affaiblissement des radiations traversant le bois, à un phénomène d'absorption. M. Righi a observé que l'intensité de la radiation réfléchie sur la première surface de la planche varie avec l'orientation des fibres est plus grande quand les vibrations sont parallèles aux fibres que quand elles leur sont perpendiculaires; il était ainsi amené à penser que l'affaiblissement de la radiation transmise correspond à un accroissement de la radiation réfléchie.

L'expérience suivante de M. Mack semble confirmer l'interprétation première. Entre les deux miroirs, disposés parallèlement l'un à l'autre, on interpose la pile de bois de 110 cm ; les fibres étant horizontales, le micromètre donne un flux de vives étincelles.

Ensuite on tourne de 90° la planche de sapin épaisse de 5 cm qui se trouve le plus rapprochée de l'excitateur; ses fibres sont alors parallèles aux vibrations incidentes : les étincelles du micromètre ne paraissent pas affaiblies.

Mais si on tourne ensuite le bloc entier de manière que toutes les planches aient leurs fibres verticales les étincelles s'éteignent presque complètement.

Indices de réfraction du bois. — Les essais effectués pour mesurer les indices de réfraction du bois par la méthode du prisme n'ont pas donné de résultat satisfaisant : la direction du rayon réfracté n'étant pas assez bien définie.

M. Mack a renoncé à cette méthode du prisme et a comparé les longueurs d'onde d'une même radiation dans l'air et dans le bois, au moyen des ondes stationnaires.

Ces ondes sont produites par réflexion sur une feuille de métal, normale à la direction des ondes incidentes. Dans une première expérience, la feuille de métal est directe-

(1) *Wied. Ann.*, t. LVI, p. 717.

(2) Voir l'*Éclairage Électrique*, t. II, p. 472.

ment exposée aux radiations; dans une seconde, elle est recouverte de la planche de bois qu'on veut étudier. Les positions des nœuds et des ventres sont déterminées à l'aide des résonateurs sur verre argenté de Righi. Soit λ la longueur d'onde de la radiation dans l'air, λ_1 cette longueur d'onde dans le bois: e l'épaisseur de la planche, d la distance à laquelle le premier nœud se trouve de la face antérieure de la planche.

Avant que la planche ne fût interposée, le premier nœud se trouvait à la distance $\frac{\lambda}{2}$ de la feuille de métal; il en est ensuite à la distance $d+e$, il s'est donc rapproché de

$$d+e-\frac{\lambda}{2}.$$

D'autre part, en interposant la planche on a remplacé une épaisseur e d'air par une épaisseur e de bois; c'est comme si on avait éloigné la feuille métallique de:

$$e\left(1-\frac{\lambda_1}{\lambda}\right).$$

Par conséquent, on doit avoir:

$$d+e-\frac{\lambda}{2}=e\left(1-\frac{\lambda_1}{\lambda}\right)$$

ou

$$\lambda_1=\frac{\lambda}{e}\left(\frac{\lambda}{2}-d\right).$$

Dans une des expériences, de M. Mack, il a trouvé pour $\lambda = 66$ cm et $e = 10$ cm, $d = 15$ cm 5, d'où

$$\lambda_1 = 37 \text{ cm } 7,$$

quand les fibres du bois étaient perpendiculaires aux vibrations et $d = 11$ cm 5 ou

$$\lambda_2 = 30, \text{ cm } 7,$$

quand les fibres étaient parallèles aux vibrations.

On peut se demander si les ondes réfléchies à la surface antérieure du bois ne produisent pas des interférences avec les ondes directes; ces interférences existent en effet, mais elles sont trop faibles pour amener des perturbations. Il est possible de vérifier les valeurs trouvées dans les expériences précédentes pour les longueurs d'onde λ_1 et λ_2. Si on admet par exemple $\lambda_1 = 38$ cm en plaçant sur la feuille de métal une pile de bois de 19 cm d'épaisseur, c'est à dire épaisse d'une demi-longueur d'onde, le résonnateur doit déceler un nœud tout près de la surface antérieure du bois; si on fait l'épaisseur égale à 28,5 cm $=\frac{3\lambda_1}{4}$, on doit observer en cet endroit un maximum; enfin pour une épaisseur de 38 cm on doit retrouver un nœud. C'est en effet ce qu'on observe; seulement dans la dernière expérience, on a seulement un minimum, parce que les ondes directes deviennent beaucoup plus intenses à cause du voisinage de l'excitateur, tandis que les ondes réfléchies s'affaiblissent beaucoup en se réfléchissant et en traversant une aussi grande épaisseur de bois. Les mêmes vérifications se font avec les fibres parallèles aux vibrations.

On peut imiter avec les ondes électriques et les lames de bois les expériences qu'on fait en optique avec les ondes lumineuses et les lames cristallines, seulement il faut remarquer que les ondes électriques doublement réfractées à travers le bois ont des intensités très inégales. Il en résulte que, même si on donne à la lame de bois, interposée entre les deux miroirs croisés, une épaisseur telle que les deux ondes présentent à l'émergence une différence de phase d'une 1/2 période, l'extinction n'est pas complète. Il faut pour l'obtenir complète, affaiblir la composante la plus intense; on y parvient en donnant une valeur convenable à l'angle de la vibration incidente avec les fibres du bois.

L'épaisseur d'une lame demi-onde en bois de sapin, sera donnée par

$$\delta = x, \delta_1 = \left(x+\frac{1}{2}\right)\lambda_2,$$

x étant le nombre de longueurs d'onde à laquelle correspond l'épaisseur δ pour un rayon vibrant perpendiculairement aux fibres. D'après les valeurs trouvées pour λ_1 et λ_2, on aura $\delta = 83$ cm.

Effectivement, une lame de cette épaisseur se comporte bien comme une lame demi-onde. M. Righi avait trouvé qu'il fallait don-

ner à l'angle de la vibration avec les fibres une valeur de 22° pour rendre les deux composantes égales. M. Mack a trouvé 28°, valeur peu différente relativement aux difficultés des mesures. En prenant une épaisseur moitié moindre, on a une lame quart-d'onde avec laquelle on peut réaliser la polarisation elliptique et la polarisation circulaire.

Il résulte de ces diverses mesures et vérifications qu'on peut attribuer aux indices de réfraction principaux du bois de sapin par rapport à l'air ·

$$\delta = 8 \text{ cm}.$$

$$n_1 = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{66}{37,7} = 1,75$$

$$n_2 = \frac{\lambda}{\lambda_2} = \frac{66}{30,7} = 2,15.$$

Double réfraction dans les milieux anisotropes artificiels.—Il est possible de réaliser artificiellement un milieu anisotrope en construisant des réseaux de fils métalliques parallèles comme ceux de Hertz, mais dans lesquels les fils soient plus écartés. Un réseau dont les fils sont écartés de 3 cm, arrête complètement ou peu s'en faut les vibrations parallèles à la direction des fils.

Si le réseau est plus écarté, de 5 à 7 cm par exemple, il laisse passer une fraction notable des vibrations parallèles aux fils et si on dispose un pareil réseau entre les miroirs croisés, de manière que la direction des fils soit la bissectrice de l'angle des lignes focales, de vives étincelles apparaissent au micromètre.

Si les fils sont écartés de 10 cm, on n'a plus d'extinction quand les fils et les lignes focales des deux miroirs sont parallèles entre elles ; mais le flux d'étincelles devient beaucoup plus vif quand on tourne le réseau dans son plan de 90°.

Un réseau de 14 cm ou de 20 cm d'écartement ne produit plus qu'un effet très petit.

Une pile de journaux possède aussi les propriétés d'un milieu anisotrope, elle se laisse très facilement traverser par les rayons électriques qui vibrent parallèlement aux strates et arrêtent ceux qui vibrent dans la direction perpendiculaire ; on peut également avec cette pile reproduire l'expérience décrite ci-dessus, en plaçant le plan des strates à 45° des lignes focales des miroirs.

M. L

L'Influence des forêts sur les orages

Quelle est l'influence des forêts sur les orages ? On la suppose bienfaisante dans le sens de la régulation : mais des expériences suivies s'imposent. M. Claudot, inspecteur adjoint des forêts, attaché à la station d'expériences de l'Ecole de Nancy, vient de publier à ce sujet un rapport savant et instructif que M. Max de Nansouty analyse ainsi dans *Le Temps*.

En 1865, dit M. Claudot, Becquerel avait présenté à l'Académie des sciences un « Mémoire sur la carte des orages à grêle des départements du Loiret et de Loir-et-Cher » contenant d'intéressantes observations basées sur l'étude des orages « réguliers », soumis à des retours périodiques. Becquerel négligeait ceux qu'il appelait « irréguliers », dont la marche capricieuse échappe à toute classification. L'étude de la marche des orages depuis 1848 lui démontra que ceux qui avaient ravagé la Beauce formaient une espèce de ceinture autour de la forêt d'Orléans, qui semblait protéger les cantons de Lorris et de Bellegarde, de même que la forêt de Montargis paraissait avoir tenu à l'abri les cantons de Ferrières, Courtenay et Château-Renard. Dans Loir-et-Cher, les abords des forêts de Marchenoir et de Boulogne avaient peu souffert des ravages de la grêle. Dans le département de Seine-et-Marne, les arrondissements de Melun et de Fontainebleau étaient également protégés par le voisinage de la forêt.

Dans un second mémoire « sur les zones d'orages à grêle » Becquerel concluait, sans expliquer la cause des phénomènes décrits, que les « forêts n'arrêtent pas brusquement les orages à grêle, que les lisières placées sous le vent de ces orages sont quelquefois atteintes, mais que ceux-ci perdent de leur intensité en pénétrant dans l'intérieur et que la

région située au delà de la forêt est en général préservée ».

En 1881, M. Riniker, inspecteur des forêts en Suisse, centralisant les observations du personnel forestier, aboutissait à cette conclusion pour le canton d'Argovie : « Jamais une chûte de grêle ne provient d'orages qui ont passé sur des forêts de sapins situées sur des hauteurs et en massif plein. Les hauteurs boisées font dévier les orages de grêle. La théorie et l'expérience s'accordent pour conseiller le reboisement des hauteurs et pour y éviter les coupes à blanc, si l'on veut éviter les chutes de grêle dans les zones voisines. »

M. Audiffred, député de la Loire, avait demandé, en 1891, aux ministres de l'agriculture et de l'instruction publique de mettre cette question à l'étude, en faisant remarquer que, si cette influence protectrice des forêts était démontrée, l'œuvre du reboisement serait singulièrement facilitée par le concours et la collaboration de tous les cultivateurs atteints par la grêle.

Pour étudier ce problème, le directeur des forêts a chargé, en 1892, la station des recherches de l'Ecole forestière d'installer dans les départements de Meurthe-et-Moselle et de la Meuse un certain nombre de postes d'observations confiés à des préposés forestiers.

Les observations ont été recueillies dans des régions de plaine, à des altitudes de 200 à 400 mètres, afin que les orages ne puissent être influencés par les accidents du sol. Des renseignements fournis par les préposés forestiers dans le cours des quatre dernières années, et centralisés par M. Claudot il résulte que, « sans arrêter les chutes de grêle, les forêts diminuent l'intensité du fléau et qu'elles protègent les régions cultivées situées en arrière dans le sens de la marche de l'orage ».

Mais il faut établir une distinction entre les massifs peuplés d'essences diverses. Tous ne protègent pas à un degré égal : les forêts résineuses ont une action plus efficace ; les futaies pleines abritent naturellement mieux que les taillis.

Pour se livrer à des comparaisons probantes sur le rôle protecteur des forêts, il faudrait disposer d'un ensemble d'observations recueillies sur toute la surface du territoire. Ces expériences sont du domaine des commissions météorologiques départementales. Les préposés du service forestier désignés dans chaque cantonnement comme observateurs de météorologie pourraient consigner sur un questionnaire les observations suivantes :

1° direction et marche de l'orage traversant ou contournant un massif forestier ;

2° altitude et largeur du massif dans le sens de la trajectoire de l'orage ;

3° essences prédominantes, âge et hauteur des peuplements.

On recueillerait ainsi un ensemble de faits qui, rapprochés de ceux obtenus par les commissions météorologiques, pourraient conduire, s'ils étaient concordants, à créer sur les points les plus exposés des rideaux protecteurs contre la grêle à l'aide de plantations résineuses.

On pourrait ainsi s'assurer d'une façon évidente, et ce serait doublement utile au point de vue scientifique et pratique, si les massifs forestiers ont pour effet, ou bien d'arrêter et de faire dévier les orages de grêle, ou de diminuer la grosseur des grêlons, ou enfin de les transformer en grésil.

BIBLIOGRAPHIE

Leçons sur l'Electricité, par M. Eric Gérard, directeur de l'Institut Électrotechnique de Montefiore, 2 vol. 4e édition, *Gauthier Villars et fils*, éditeurs, Paris.

Parmi les ouvrages destinés à l'enseignement de l'électricité il en est peu qui ont eu la popularité du traité de M. Eric Gérard.

Cette popularité, très justement méritée d'ailleurs tient surtout à ce qu'il fut le premier ouvrage didactique d'un ordre suffisamment élevé pour être lu avec profit par les ingénieurs désireux de se lancer dans la carrière électrique. Il est bon d'ajouter que

jusqu'ici aucun ouvrage semblable n'est capable de lui faire concurrence.

Ce livre n'ayant pas encore été analysé dans cette revue, il ne sera pas opportun d'insister un peu plus longuement que de coutume sur cette nouvelle édition.

Après une introduction consacrée aux unités de mesure et à quelques théorèmes généraux sur les forces centrales, l'auteur aborde en premier lieu l'étude du magnétisme : propriétés des aimants, aimantation par influence.

L'étude des propriétés des corps électrisés, des condensateurs, des diélectriques, des décharges, puis celle des courants électriques constituent un second chapitre intitulé Électricité.

Aucun changement important n'est fait dans ces deux chapitres sur les éditions précédentes, sauf quelques adjonctions relatives aux valeurs des coefficients d'hystérésis et à l'hystérésis diélectrique.

L'électromagnétisme : phénomènes magnétiques dus aux courants, potentiel magnétique du courant, rotations et déplacements électromagnétiques, électroaimants, unités électromagnétiques, fait l'objet d'un troisième chapitre.

Vient ensuite l'étude de l'induction électromagnétique : lois, applications et rotations dues aux courants induits. A cette étude est annexé un complément théorique sur la propagation des courants, avec les effets comparés de la self-induction et de la capacité dans un circuit.

La question des mesures électriques, étalons, méthodes de mesure des différents éléments d'un circuit et appareils industriels fait l'objet d'un chapitre spécial mais un peu court à notre avis.

Les couples thermo-électriques et les différents modes de groupements des piles en général, puis les piles hydro-électriques, piles primaires et accumulateurs constituent avec ce qui précède la première moitié du premier volume.

Toute la seconde moitié est consacrée à l'étude dite des générateurs, machines dynamo-électriques et transformateurs.

Après avoir donné quelques notions préliminaires l'auteur étudie tout d'abord les machines à courant continu à un point de vue général. Il aborde ensuite le circuit magnétique des dynamos et les différents modes d'excitation, puis la théorie des machines à courant continu, les essais à faire sur ces machines, et la représentation graphique des résultats.

La construction de ces machines, les descriptions de quelques types classiques et enfin l'étude d'un projet de dynamo terminent l'étude des machines à courant continu.

Dans l'étude des machines à courant alternatif M. Eric Gérard commence par la description des types d'alternateurs les plus connus, puis après quelques mots sur la détermination des courbes périodiques et des essais, il reproduit le calcul d'Hopkinson sur le couplage des alternateurs, ce qu'il n'avait pas fait jusqu'ici dans les précédentes éditions. Quelques pages sont ensuite consacrées à la théorie des alternateurs polyphasés.

La théorie des transformateurs à courants alternatifs, la description des principaux types les essais et enfin l'établissement d'un projet terminent le premier volume consacré plus particulièrement, comme on voit, à l'exposé des théories.

Dans le second volume, l'auteur se propose de développer les applications industrielles. C'est ce volume qui a subi le plus de modifications depuis la première édition. M. Eric Gérard y consacre un premier chapitre à la distribution de l'énergie électrique, conducteurs, appareils de sécurité, différents systèmes de distribution, transport de l'énergie, distributions pour transformateurs et convertisseurs, compteurs électriques.

En second lieu l'auteur étudie les canalisations électriques, aériennes et souterraines, leur isolation et la recherche des défauts, ainsi que les essais particuliers à faire sur les lignes télégraphiques.

Il aborde ensuite l'utilisation de l'énergie électrique par l'étude des électromoteurs à courants continus et alternatifs. Ces derniers

synchrones ou asynchrones sont l'objet de nouveaux développements.

La transmission et la distribution de la puissance mécanique, (théorie et applications) ainsi que la traction électrique (notions générales, systèmes divers) font l'objet des deux chapitres suivants et ont reçu peu de modifications sur la précédente édition.

Puis l'auteur passe en revue la télégraphie. Quelques définitions et la description du télégraphe Morse précédent la théorie et la description des systèmes télégraphiques reposant, soit sur des combinaisons de courants, soit sur des combinaisons mécaniques.

En téléphonie, outre les téléphones à piles, l'auteur dit quelques mots sur les appareils de Varley, de Preece, d'Edison et de Bell, et s'occupe également des appels, des postes, des lignes, des bureaux centraux, ainsi que de la télégraphie et de la téléphonie simultanées.

Nous rentrons ensuite dans l'électricité industrielle par l'étude de l'éclairage électrique, lampes à incandescence et à arc, photométrie. M. Eric Gérard y donne les conditions générales d'établissement des stations centrales et la description sommaire de quelques unes. Il termine cette question de l'éclairage par quelques considérations sur le coût de l'éclairage électrique et par l'établissement d'un projet d'éclairage.

Un dernier chapitre, est enfin consacré à l'électrométallurgie, ses lois, ses procédés, à la galvanoplastie et à la soudure électrique.

Si nous ajoutons à cette longue énumération, que le traité de M. Eric Gérard témoigne à chaque page de la qualité d'exposition et de concision qui font de son auteur un des meilleurs professeurs des Écoles Électriques, il faut en conclure que son livre peut et doit être mis entre les mains des débutants et qu'en outre il est indispensable à tous les électriciens.

F. Guilbert

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Berlin. — Traction. — La ligne de tramways électriques du pont Warschauer à la place Nollendorff, actuellement en cours de construction, sera prolongée jusqu'au Jardin Zoologique qu'elle contournera en partie.

Le viaduc, destiné aux mêmes tramways, construit sur le pont Oberbaum est presque totalement achevé. La concession du nouveau réseau sera d'une durée de 60 années.

— La Compagnie des tramways à traction animale vient de mettre à l'essai l'éclairage électrique des voitures. Cet éclairage comporte cinq lampes à incandescence alimentées par des accumulateurs ; trois sont destinées à l'intérieur de la voiture et les deux autres pour l'éclairage extérieur du tramway ; toutes sont munies de réflecteurs qui ont pour but de répartir la lumière uniformément. D'après les premiers résultats, qui ont été excellents, on espère que dans le courant de cette année toutes les voitures de la Compagnie seront dotées de ce mode d'éclairage.

Edimbourg (Ecosse). — Éclairage. — On installe en ce moment l'éclairage électrique dans l'église catholique de la rue de Londres. Cette installation comprend 160 lampes à incandescence de 8 à 10 bougies. La disposition de quelques-unes de ces lampes offre quelque particularité, notamment celles qui éclairent l'autel et le fond du sanctuaire ; elles sont invisibles de l'intérieur de la nef et un jeu de réflecteurs renvoie la lumière et la projette sur les sujets et attributs religieux ; l'effet est, paraît-il, très curieux.

Genève. — Eclairage. — La municipalité de Genève, dans le but de favoriser l'extension de l'éclairage électrique, vient d'adopter un projet d'arrêté d'après lequel la Ville accorderait une subvention de 60 pour 100 du cout des installations à tout nouvel abonné s'engageant à un minimum de consommation annuelle. Cette subvention, qui s'applique exclusivement au matériel de distribution tel que fils, moulures, tubes, isolateurs, coupe-circuits, interrupteurs nécessaires au bon fonctionnement de l'installation, ne pourra dépenser la

somme de 15 fr par lampe, ni le minimum de consommation annuelle souscrit par abonné.

Les abonnés actuels auraient également droit à une subvention pour les suppléments d'installation supérieurs à cinq lampes.

Pour les installations à faire dans les immeubles non encore pourvus d'un raccordement avec le réseau d'éclairage électrique, il serait demandé un minimum et une durée d'abonnement en rapport avec l'importance des travaux.

Liège. — *Traction.* — On sait que c'est l'Union Elektricitaets-Gesellschaft » qui a entrepris l'installation électrique par câble aérien (système Thomson-Houston) sur les voies anciennes et nouvelles des Tramways liégeois. Le contrat d'entreprise stipulait que le prix forfaitaire de l'installation ne pourrait pas être supérieur à celui demandé à Bruxelles et dans d'autres grandes villes du continent, où fonctionne le système « Thomson-Houton ».

Une contestation s'étant élevée à ce sujet a été soumise à l'appréciation de trois arbitres : MM. Eric Gérard, directeur de l'institut Electro-Technique Mentefiore, professeur à l'Université de Liège ; G. L'Hoest, ingénieur principal aux chemins de fer de l'Etat, à Liège, et Boulvin, ingénieur des Télégraphes de l'Etat, professeur à l'université de Gand.

Ces messieurs viennent de prononcer leur sentence, qui est favorable à l'Union Elektricitaets-Gesellschaft. Ils estiment seulement — d'accord d'ailleurs avec l'Union — que le prix forfaitaire global de 913 000 francs doit être ramené à 902 000 francs, par suite de la suppression de la double voie depuis le pont d'Avroy jusqu'à la place Saint Lambert. Le projet primitif sur lequel avait été dressé le devis de l'Union comportait, en effet, la double voie depuis la gare des Guillemins jusqu'à la place Saint Lambert.

Londres. — *Traction.* — Un projet est en ce moment à l'etude à Londres. Son exécution causerait, paraît-il, une véritable révolution dans le service actuel des tramways. Un puissant syndicat a offert de prendre à sa charge toutes les lignes actuellement en exploitation. Ce syndicat se propose d'établir de nouveaux branchements et d'appliquer la traction électrique dans tous les points des différents réseaux.

Pointe-à-Pitre (*La Guadeloupe*). — *Éclairage.* — Nous apprenons que la municipalité de Pointe-à-Pitre, se proposant de doter le plus tôt possible cette ville de la lumière électrique, a sollicité de la colonie la concession d'une chute d'eau de la Grande-Rivière, destinée à fournir la force motrice nécessaire au fonctionnement de la station centrale.

Prague (*Autriche-Hongrie*). — *Traction.* — Une ligne de tramways électriques vient d'être inaugurée dans cette ville. Le courant est fourni par une station centrale contenant deux machines à vapeur de 120 chevaux chacune, actionnant quatre alternateurs fournissant 35 000 watts. Le courant est distribué sur le réseau par des conducteurs aériens Les voitures sont au nombre de 20 dont 12 motrices, 3 pour la remorque et 5 destinées au transport des colis et bagages ; chacune de ces voitures est éclairée par quatre lampes à incandescence de 16 bougies alimentées par le courant de la ligne.

Les voitures motrices sont munies de deux moteurs de 10 chevaux placés l'un derrière l'autre sur le truck ; tous deux sont commandés simultanément et peuvent fonctionner avec des vitesses différentes et réglables par l'emploi des rhéostats.

Cinq autres voitures motrices sont actuellement en construction pour être employées sur le même réseau.

Le tarif est de 5 kreutzers pour 6 stations ; au-dessus de 6 stations, 10 kreutzers ; les bagages appartenant aux voyageurs sont taxés d'après leur poids et leur volume.

Schaffhouse (*Allemagne*). — *Eclairage.* — L'administration communale de la ville de Shaffhouse vient de décider l'établissement d'une usine municipale d'électricité et a voté à cet effet un premier crédit de 400 000 francs. En dehors de la force motrice à vapeur, la Ville a traité avec la Compagnie des Eaux pour lui fournir éventuellement, sur sa demande, deux ou trois turbines de 300 chevaux à raison de 60 francs par cheval et par an.

Spandau (*Allemagne*).— *Traction.*— La Compagnie des tramways électriques de Spandau s'est réuni dernièrement dans le but d'établir une double ligne de tramways électriques de Spandau à Plotzence via Westend et une autre ligne Spandau Haschorst-Plotzence-Moabit. La station de Spandau qui fournit le courant aux tramways de la ville sera agrandie et munie de nouvelles machines qui lui permettront d'alimenter les nouvelles lignes. La concession est accordée à MM. Schuckert et Cie

de Nuremberg; les frais sont évalués à 625 000 fr; le contrat stipule que les nouvelles lignes devront pouvoir être mises en exploitation dans le courant de l'année.

Strasbourg. — Éclairage. — Bientôt le port de Strasbourg sera éclairé électriquement. Une station centrale, située près de la porte Schirmech, alimentera 22 lampes à arc disséminées aux abords du port, dans les hangars, entrepôts, bureaux, etc.; 390 lampes à incandescence complètent cet éclairage. Il est probable que le courant électrique sera en outre utilisé comme force motrice pour le service des grues et des élévateurs.

Zurich (Suisse). — Éclairage et force motrice. — La Compagnie d'électricité de cette ville vient de voter un nouveau crédit de 300 000 francs qui seront employés aux agrandissements de l'usine actuelle, et à l'installation de nouvelles machines dont le rendement permettra à la Compagnie de diminuer les prix d'abonnements et, par ce moyen, d'en avoir de nouveaux.

DIVERS

Durée des lampes à incandescence. — M. W. M. Smith écrit à *Engineering* que dans les ateliers du Great Southern and Western Railway, à Cork, un certain nombre de lampes à incandescence ont fait et font encore un service exceptionnellement long. Toutes ces lampes sont de 16 bougies à 50 volts et sont alimentées par courant alternatif.

			heures
Durée moyenne de	38	lampes	3 471
»	17	»	2 140
»	9	»	5 337
»	5	»	1 879
»	6	»	6 747
Durée maxima de	38	lampes	11 005
»	17	»	5 468
»	9	»	17 880
»	5	»	23 434
»	6	»	15 517

Plusieurs lampes sont encore en usage depuis le premier jour; parmi elles,

4	ont été allumées	pendant plus de	30 000	heures
1	»	»	17 600	»
1	»	»	15 000	»
2	»	»	10 000	»
4	»	»	4 000	»
1	»	»	3 400	»

Il serait intéressant de savoir, en outre, quels sont à présent la puissance lumineuse et la consommation spécifique de courant de ces lampes.

L'alliance de la General Electric Company et de la Westinghouse Electric and Manufacturing Company. — Une nouvelle d'une grande importance au point de vue industriel nous vient d'Amérique. Les deux plus puissantes compagnies d'électricité des Etats-Unis, la General Electric Company et la Westinghouse Electric and Manufacturing Company viennent de signer un traité d'alliance qui les rendra maîtresses de tout le marché américain. Jusqu'à ce jour elles s'étaient fait une guerre acharnée tant « à coups de tarifs » que par des procès en contrefaçon. Chaque compagnie possédait des brevets fondamentaux qui entravaient l'action de l'autre compagnie. Dans le nouvel arrangement, chaque compagnie conserve son indépendance absolue, mais pourra utiliser les brevets de la compagnie concurrente. Il a été admis, après certaines exclusions, que la General Electric avait apporté 62,5 pour 100 et la Westinghouse 37,5 pour 100 de la valeur totale des brevets et que chaque compagnie est autorisée à faire usage des brevets de l'autre compagnie, sauf pour les quelques exceptions stipulées, et que chaque compagnie paiera un droit pour tout emploi des brevets de la compagnie rivale, en excès de la valeur de son apport.

Un comité de 5 membres contrôlera l'exécution du traité et tout ce qui concerne les brevets.

Les deux compagnies dépensaient tous les ans des sommes considérables en procès; elles espèrent que ce nouvel arrangement leur sera profitable.

Alliages collorés d'aluminium. — L'*Electrochimie* donne des détails intéressants sur un alliage coloré d'aluminium inventé par l'ingénieur américain Hunt et le chimiste anglais Roberts Austen. Cet alliage de couleur pourpre à reflets rubis est formé de 78 parties d'or et de 22 parties d'aluminium.

La curieuse coloration que présente cet alliage particulier d'or et d'aluminium montre que ce dernier métal se comporte différemment dans ses combinaisons métalliques que ne le font les métaux usuels; ceux-ci forment des alliages dont la coloration dérive visiblement de celle des composants. Si les métaux alliés sont blancs, on obtient des composés dont la teinte est encore blanche: ce sera le cas, par exemple, des alliages faits avec

le zinc, l'étain ou l'argent. Avec l'aluminium, il en sera de même s'il est allié à ces mêmes métaux, c'est à dire que la teinte ne change aucunement. Par contre, l'aluminium allié à des métaux peu fusibles tels que le platine, le palladium et même, à un certain degré avec le cobalt et le nickel, peut parfois donner naissance à des alliages fortement colorés. Alliés à l'aluminium dans des proportions convenables, le platine peut donner un alliage ayant la couleur de l'or, le palladium un alliage rose cuivré, le cobalt et le nickel des alliages plus ou moins jaunâtres. Ce sont d'ailleurs les seuls métaux sur lesquels les essais aient porté jusqu'à présent ; mais on peut supposer que l'aluminium forme d'autres combinaisons colorées avec les métaux de la famille du platine, l'iridium, par exemple, et probablement aussi le chrome, le titane et des métaux à point de fusion élevé.

Il semble que la bijouterie pourrait tirer parti de ces alliages pour obtenir des effets artistiques nouveaux et appréciés.

La traction électrique au Japon. — Nous parlions il y a quelque temps (*Éclairage Électrique*, t. III, p. 609, 29 juin 1895) de l'inauguration de la première ligne de tramways électriques installée à Tokio (Japon). Cette ligne avait une longueur de 6,5 km et possédait en tout quatre voitures motrices. Le réseau est aujourd'hui agrandi dans des proportions considérables ; la longueur des nouvelles lignes s'élève à 18 km et le service est fait par 26 voitures motrices.

Le courant est fourni par une station hydraulique pouvant disposer de 2 000 chevaux. Cette usine est alimentée par un canal long de 25 km qui réunit le lac Biwa avec le fleuve Ujigawa ; ce canal sert en même temps à la navigation.

Le débit est de 8 500 litres par seconde, dont 7 000 pour la station hydraulique et 1 500 pour l'irrigation ; l'eau est amenée au puits à turbines par trois grands tuyaux ayant un diamètre de 0,90 m et une longueur de 450 mètres ; les turbines au nombre de 20 sont du type Pelton et actionnent 12 dynamos et alternateurs Thomson Houston produisant : 435 kilowatts en courant continu à la tension de 500 volts ; 250 kilowats en courant alternatif monophasé à 1 000 et 2 000 volts ; 240 kilowatts en courant alternatif biphasé, à 2 000 volts, et 240 kilowatts en courant triphasé, à 2 000 volts, formant ensemble un total d'environ 1 200 kw. Cette énergie est utilisée en partie par les tramways, et aussi par de nombreuses filatures de soie qui consomment environ 1 000 chevaux. La ville de Tokio est aussi éclairée à l'électricité par la même station.

En raison du succès des premières installations de tramways à traction électrique de Tokio et de l'augmentation considérable, et qui va toujours en croissant, du nombre des nouvelles lignes, l'industrie électrique au Japon aura bientôt une très grande importance. Les villes de Yokohama et d'Osaka ont déjà voté l'installation des tramways électriques et les stations qui les alimenteront fourniront aussi de la force motrice qui remplacera la vapeur dans les nombreux ateliers de ce peuple industrieux.

Société industrielle de Rouen. — Cette Société met au concours un grand nombre de questions intéressant l'industrie rouennaise. Les prix, consistant en médailles d'or ou de vermeil, seront distribués en avril 1897. Parmi les prix relatifs à des applications de l'électricité, nous relevons :

Médaille d'or pour une nouvelle application des machines électrodynamiques aux arts chimiques. Les procédés présentés devront marquer, en même temps qu'une amélioration, une économie réelle sur ceux auxquels ils sont appelés à être substitués.

Médaille d'argent pour le meilleur système de lampe d'éclairage simple et pratique, permettant de produire et de brûler l'acétylène.

Médaille d'or pour un pyromètre donnant exactement les températures au-dessus de 300°. L'appareil devra être transportable et se prêter à une installation commode.

Médaille d'or pour un compteur d'électricité enregistrant fidèlement le débit du courant, de la consommation la plus faible à celle la plus élevée dans toute installation privée.

Médaille d'or pour un nouveau système d'accumulateur d'électricité présentant de notables avantages économiques sur les systèmes connus.

A cause de l'Exposition qui bientôt s'ouvrira à Rouen, la Société décernera un prix extraordinaire, dit prix de l'Exposition, de 1 200 fr en espèces, à l'auteur d'une œuvre d'utilité publique et d'intérêt général, consistant soit en une découverte ou une invention, soit en un ouvrage manuscrit ou imprimé. Cette œuvre devra en outre trouver son application dans le commerce ou l'in-

dustrie et ne devra avoir été présentée à aucun concours.

Les mémoires présentés au concours devront être adressés au président de la Société, 2, rue Ampère et place de la Cathédrale, au plus tard le 30 septembre 1896.

Association britannique pour l'avancement des Sciences. — Le prochain meeting de la British Association se tiendra à Liverpool du 16 au 23 septembre. La section des Sciences mathématiques et physiques sera présidée par le professeur J. J. Thomson ; celle de chimie par M. Ludwig Mond ; celle des Sciences mécaniques par Sir Douglas Fox.

Régulateur Siemens et Halske pour ascenseurs électriques. — La question des ascenseurs électriques prend tous les jours une importance de plus en plus considérable. En outre, les moteurs employés pour actionner ces appareils travaillent dans des conditions particulièrement défavorables par suite des départs et arrêts continuels et des fréquents renversements du sens de la rotation; aussi n'est-il pas inutile d'appeler l'attention sur un régulateur construit par la maison Siemens et Halske, qui, bien que d'une très grande simplicité, a donné d'excellents résultats.

Cet appareil régulateur consiste, comme à l'ordinaire, en un rhéostat de départ à contact glissant, dont une corde placée dans l'ascenseur manœuvre le commutateur. Les surfaces de contact de ce commutateur sont en charbon évitant ainsi les détériorations dues aux étincelles occasionnées par les ruptures de circuit. Les spires du rhéostat sont en connexion avec plusieurs séries de tiges cylindriques de charbon, disposées en une rangée sur la monture de l'appareil ; un nombre égal de charbons cylindriques sont fixés, en regard des premiers, sur le bras mobile du commutateur, de sorte qu'en manœuvrant ce bras mobile, les charbons viennent graduellement en contact les uns avec les autres.

Cette forme de rhéostat présente l'avantage de nécessiter un nombre de plots moins grand qu'avec des contacts métalliques et de permettre de rétablir promptement les communications. Ainsi dans le rhéostat de départ d'un ascenseur de 7 chevaux 4 plots seulement ont été suffisants.

On peut faire fonctionner ce rhéostat au moyen d'un régulateur manœuvré par l'axe moteur ; ce régulateur agit sur le bras mobile du commutateur du rhéostat et permet de graduer la suppression de la résistance. On peut encore, par un dispositif spécial, faire en sorte que le régulateur reste dans sa position d'arrêt lorsque la charge placée sur l'ascenseur dépasse la charge normale et, pour cette raison, peut détériorer l'appareil. Enfin il est également possible de faire arrêter automatiquement l'ascenseur aux points extrêmes de sa course.

Pour les ascenseurs d'une puissance de 30 chevaux on a trouvé nécessaire d'employer des rhéostats à 6 ou 8 contacts. Les spires sont alors disposées dans une boîte en fer-blanc divisée en deux parties ; de chaque côté sont rangées les séries de charbons; les contacts s'opèrent au moyen du régulateur dont il vient d'être question.

Les câbles sous-marins de l'Océan Indien. — Il y a quelques mois, MM. de Mahy et Louis Brunet déposaient sur le bureau de la Chambre une proposition de loi relative à l'établissement d'un câble télégraphique sous-marin entre Tamatave, la Réunion et l'île Maurice. Cette proposition a été soumise à la commission du budget et M. Boudenoot, député, a déposé récemment, au nom de cette commission, un rapport très documenté.

Dans ce rapport l'auteur rappelle qu'en 1894 la commission d'étude des câbles sous-marins, fonctionnant auprès de la Direction générale des postes et télégraphes, a eu, en prévision même des événements militaires qui viennent de se dérouler à Madagascar, à se préoccuper particulièrement de l'établissement de relations télégraphiques avec cette île et avait préparé un projet prévoyant l'organisation des lignes suivantes :

1° Ligne de Mozambique à Majunga ;

2° Ligne de Majunga à Nossi-Bé ;

3° Ligne de Nossi-Bé à Diégo-Suarez, par la baie du Courrier ;

4° Ligne de Tamatave à l'île de la Réunion ;

5° Ligne de l'île de la Réunion à l'île Maurice ;

6° Ligne de Tamatave à l'île Sainte-Marie de Madagascar.

La première des six sections prévues dans ce projet a seule été exécutée jusqu'ici ; la proposition de MM. de Mahy et Brunet tendait à obtenir le prompt établissement des quatrième et cinquième sections par 1° un câble qui, partant de Ta-

matave et aboutissant à l'île Maurice, se raccorderait, après avoir touché à l'île de la Réunion, à la ligne anglaise laquelle, partant de Zanzibar, touche à Mahé des Seychelles et aboutit à Port-Louis ; 2° une ligne terrestre entre Majunga et Tamatave, passant par Tananarive et utilisant la section existant déjà entre ces deux derniers points.

La longueur du câble de Tamatave à la Réunion et à l'île Maurice serait de 600 milles dont 460 milles entre Tamatave et la Réunion et 140 milles entre la Réunion et l'île Maurice. Le rapporteur estime à 1 547 600 fr les frais de fabrication de ce câble et à 2 600 000 fr la dépense totale d'établissement, sous réserve des rabais d'adjudication.

L'établissement d'une ligne terrestre à double fil entre Majunga et Tananarive, la consolidation de la ligne actuelle de Tananarive à Tamatave et la pose d'un second fil entre ces points sont estimés à 417 000 fr.

Le total des dépenses nécessaires à la réalisation du projet de MM. de Mahy et Brunet est donc de 3 017 000 fr. Le rapporteur y ajoute une somme de 501 000 fr pour l'appropriation d'un navire destiné à la réparation du câble projeté ainsi que des câbles de notre réseau sous-marin de l'Océan Indien.

Les dépenses annuelles d'entretien sont estimées à 224 701 fr pour le câble et 41 700 fr pour la ligne terrestre ; les frais d'exploitation à 239 500 fr.

Quant aux recettes on ne peut guère en faire une évaluation ; toutefois il y a lieu de compter sur une subvention annuelle de 75 000 fr que le conseil général de la Réunion est disposé à voter pour faciliter l'exécution du projet.

Le carborindon et l'éclairage électrique. — On sait que le siliciure de carbone, obtenu au creuset électrique par M. Acheson, a reçu depuis deux ans de nombreuses applications comme substance abrasive, à cause de sa grande dureté. M. Acheson a cherché à mettre a profit ses qualités d'inoxydabilité, d'infusibilité et d'émissivité pour en faire un précieux succédané ou auxiliaire du charbon dans l'éclairage électrique.

Dans le but d'augmenter la durée des charbons des lampes à arc, on fait un mélange de neuf parties de charbon et d'une partie de carborindon, finement porphyrisés et amenés à l'état pâteux par du brai ou un liant analogue. Le mélange est moulée et cuit à la façon ordinaire.

Pour les filaments de lampes à incandescence, on nourrit le filament dans un hydrocarbure tenant en suspension le carborindon pulvérisé : le filament augmente de section par le dépôt du mélange de carbone et de silicium.

Le carborindon étant produit à haute température est naturellement exempt de matières volatiles et possède une inoxydabilité mise en évidence en le soumettant à un courant d'oxygène pur, après l'avoir porté à une température élevée. Si l'on en croit *The Electrical Engineer* de New-York, son pouvoir émissif est tel qu'il produit, à puissance égale dépensée, une intensité lumineuse plus grande que le charbon.

Laminage de l'aluminium. — La « A. Garrisson Foundry Company », de Pittsburg, construit pour la « Pittsburg Reduction Company » un train destiné au laminage de l'aluminium qui possède des caractéristiques intéressantes.

Ce train consiste en un mill ébaucheur de 28 × 84 pouces et mill finisseur de 28 × 84 pouces du modèle le plus récent, dans lequel les cages pèsent 30 000 livres anglaises l'une et les plaques de fondation 1 000 livres anglaises par pied courant du train. L'engrenage à vis du mill ébaucheur est actionné au moyen de poulies reliées par des clavettes à une commande fixée au cylindre supérieur, tandis que le mouvement est communiqué au cylindre finisseur supérieur (qui n'est pas accouplé avec le cylindre ébaucheur supérieur, de façon à éviter tout tintement désagréable et à fournir ainsi une plaque absolument lisse et finie) par des roues planes et par des courroies.

Ceci dispense des arbres suspendus sujets à des désagréments nombreux.

Le mill ébaucheur est muni d'une table à bascule hydraulique placée du côté du train où se trouve placé l'ouvrier chargé du placement du lingot et qui a pour but de faciliter la manutention rapide des gros lingots. Le train est actionné par une machine Porter-Allen horizontale automatique du modèle le plus récent.

Cuivrage galvanique de l'aluminium. — On a déjà essayé, à de nombreuses reprises, de recouvrir l'aluminium de divers métaux afin d'avoir des produits utilisant la légèreté de ce métal, tout en ayant également un aspect plus agréable. Les

résultats obtenus jusqu'ici n'ont pas été très satisfaisants.

M. Charles Margot, professeur au cabinet de physique de l'Université de Genève, vient d'obtenir un procédé de cuivrage galvanique de l'aluminium.

L'auteur soumet la pièce d'aluminium à cuivrer à une décapation au moyen d'un carbonate alcalin, dont le but est de rendre la surface de l'aluminium striée et poreuse, la lave ensuite à l'eau courante, puis l'immerge dans une solution chaude d'acide chlorhydrique au 1/20 ; un dernier lavage à l'eau pure termine la première phase de l'opération.

Comme il est nécessaire d'obtenir un cuivrage préalable, la pièce est mise dans un bain de simple trempe, dans une solution peu concentrée et légèrement acide de sulfate de cuivre jusqu'à obtention d'un dépôt uniforme. Après l'avoir ensuite lavée à grande eau pour chasser toute trace de chlore, la pièce est mise au bain traversé par le courant électrique.

Ce procédé a donné à M. Margot de bons résultats.

La galvanisation électrique des tubes de fer. — M. Richter a rapporté récemment, dans la *Zeitschrift für Electrochemie,* des expériences qu'il a faites concernant le dépôt électrique du zinc sur des tubes de fer. Comme bain, il emploie une solution neutre de sulfate de zinc et fait usage d'un courant dans la proportion de 200 à 700 ampères par mètre carré. Il faut s'assurer qu'on est à l'abri de la présence de tout sel électro-négatif et, bien entendu, le fer doit être préalablement lavé au moyen d'une solution chaude à 10 pour 100 de soude caustique.

Le « Signal-Corps » aux Etats Unis. — *L'Électrical Engineer* vient de publier le rapport annuel du général Greeley, chef du « Signal-Corps » de l'armée des États-Unis.

Ce rapport mentionne les avantages résultant de l'emploi de la bicyclette pour la réparation des lignes télégraphiques, et cite le cas d'une rupture de ligne qui fut reconnue à 2 milles de la station, en moins de temps qu'il n'en aurait fallu pour armer une équipe de secours. Dans une autre station, Taylor's ranch (Utah), l'emploi de la bicyclette, a procuré, au cour d'une seule année, une économie dépassant le prix d'achat de la machine.

Le « Signal-Corps » a étudié d'une manière spéciale l'organisation de ses équipes de télégraphie volante. Ces équipes sont en possession des appareils les plus modernes en tant qu'ils répondent aux besoins de la pratique. Elles sont stationnées à Fort Riley (Kansas), à Fort Grant (Arizona), à Fort Sam Houston (Texas), à Fort Leaverworth (Kansas), et au Présidio de San Francisco (Califournie.) Les expériences entreprises en ce qui concerne le déroulement et l'enroulement du fil et du câble d'avant-postes s'effectuant automatiquement au moyen de la bicyclette ont été terminées, et le Corps possède aujourd'hui une bicyclette à système automatique qui fonctionne parfaitement. On adapte en ce moment le même dispositif à un chariot de câbles d'avant-postes. Trois chariots semblables ont été commandés ; on a la confiance qu'ils donneront d'aussi bons résultats que la bicyclette. Le « Signal-Corps » disposera ainsi d'un matériel supérieur à celui d'aucun autre pays, et permettant aux opérateurs de rester constamment en relation avec leur base d'opération pendant l'établissement et le relèvement de la ligne. Les actions du service de campagne seraient éventuellement remplacées par des bicyclettes et des chariots de câble munis de dispositifs automatiques.

L'instruction des hommes du « Signal Corps » stationnés à Fort Riley a été continuée et donne des résultats satisfaisants. La durée de cette instruction est de quatre mois pour la théorie et de deux mois pour la pratique. Les cours comprennent l'étude de l'électricité, de la télégraphie, de la téléphonie, des signaux militaires, du lever des plans, de la construction des cartes et de la photographie ; leur organisation permet de faire de chaque homme un *signaliste* expert et un bon opérateur télégraphiste ; ils le mettent en état de des croquis et des photographies de reconnaissance en campagne.

L'éclairage des trains par l'électricité. — Il paraîtrait que les Australiens ont résolu le problème de l'éclairage des trains par l'électricité au moyen d'un procédé bien souvent préconisé. Une dynamo placée dans le fourgon des bagages est actionnée par une courroie passant par un des essieus du wagon. Pendant la marche du train cette dynamo

charge des accumulateurs qui fournissent la lumière dans tous les autres wagons.

Ce système installé depuis deux ans a fonctionné sans accident et a toujours donné d'excellents résultats.

Le coût y compris les employés est inférieur à celui de l'éclairage par la Kérosine.

Fusil à éclairage électrique. — On expérimente en ce moment, dans la garde prussienne, pour les tirs de nuit, un appareil d'éclairage instantané au moyen d'une petite lampe électrique destinée à éclairer le terrain en avant du tireur. L'appareil est fixé dans la crosse du fusil Le mouvement d'armé fait jaillir la lumière ; le coup parti, la projection électrique cesse et les ténèbres protègent le tireur contre le visé de l'adversaire. Un régiment de la garnison de Berlin fera cet été des expériences susceptibles d'établir le caractère pratique des fusils à éclairage électrique. Ajoutons que ce système n'est pas nouveau et qu'il a été pratiqué avec succès par les officiers anglais dans l'Inde, pour les affûts nocturnes dans la chasse au tigre.

Tonneau d'arrosage mû par l'électricité. — Un essai vient d'être fait en Amérique, à Newark, en vue d'utiliser le réseau de tramways électriques pour assurer, d'une manière rapide et économique, l'arrosage des rues traversées par ces voies.

On se sert, dans ce but, de wagons-citernes, mus également par un trolley prenant le courant sur le conducteur aérien de la ligne. Chaque wagon porte deux pulvérisateurs, placés l'un sous le châssis, l'autre sur le côté, dont le débit peut être réglé au moyen d'un levier placé sur l'avant du châssis. à la main du conducteur. Le premier sert à arroser entre les rails. Le second lance sur le côté un jet suffisamment puissant pour couvrir la demi-largeur de la chaussée, les voies étant posées le long des trottoirs. Il en résulte que, dans son voyage d'aller et retour, le wagon-citerne a arrosé complètement toute la chaussée, et cela avec une rapidité inconnue dans nos grandes villes.

Chaque wagon porte 11 mètres cubes d'eau, et pèse en charge environ quinze tonnes.

Budget de l'électricité. — Sait-on quel est le chiffre des capitaux engagés dans les entreprises où l'électricité joue le rôle principal ? Ils se répartissent comme suit dans les diverses parties du monde.

En Angleterre, 500 millions de francs; en France, 750 millions ; en Allemagne, 1 milliard ; en Autriche, Italie, Espagne et Suisse, 700 millions; en Russie, Suède, Norwège et Danemark, 250 millions; aux Etats-Unis, 2 milliards 250 millions; au Canada et dans quelques autres parties de l'Amérique, 250 millions.

Soit 4 milliards 900 millions pour l'Europe et 2 milliards et demi pour l'Amérique.

Historique du terme cheval-vapeur. — C'est à James Watt, l'inventeur de la machine à vapeur, que l'on doit l'introduction dans l'industrie de l'expression cheval-vapeur.

La puissance représentée par ce vocable, c'est à dire celle qui permet d'élever un poids de 75 kilogrammes à 1 mètre de hauteur en une seconde, est notablement supérieure à la puissance du cheval ; celle-ci, en effet, n'est, en moyenne, que de 30 kilogrammètres-seconde, comme on l'a constaté dans des expériences soigneusement faites avec 250 chevaux, et elle devait être la même à l'époque de Watt, car la force du cheval n'a pas dû varier depuis.

Comment cet homme de génie en est-il venu à introduire dans la technique une expression aussi impropre ? Le *Prometheus* en donne l'explication suivante :

Une des premières machines à vapeur construites par Watt devait être installée à la brasserie de Wibread (Angleterre) pour y remplacer les chevaux actionnant jusque-là un jeu de pompes.

Pour obtenir une machine d'un aussi bon rendement qne possible, pouvant pomper autant d'eau qu'un bon cheval, le brasseur détermina la capacité de travail de celui-ci, en le faisant travailler pendant huit heures, sans interruption, sous le fouet. Il obtint ainsi le chiffre repectacle de 2 millions de kilogrammes d'eau élevée.

Le travail ainsi effectué, ramené à la seconde, faisait ressortir à 75 kilogrammes la quantité d'eau élevée, à la seconde, à 1 mètre de hauteur, et Watt l'adopta, sous le nom de cheval-vapeur, comme base de tous ses calculs.

Malgré son inexactitude, le nom de cheval-vapeur est resté à cette mesure conventionnelle.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. MAUCHAUSSAT, 32, Boulevard de Vaugirard

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

Directeur Scientifique J. BLONDIN

Secrétaire de la rédaction : G. PELLISSIER

LA DISTRIBUTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE A LYON

PAR LA SOCIÉTÉ LYONNAISE DES FORCES MOTRICES DU RHÔNE

Après de longues et consciencieuses études conduites par une commission composée de MM. Eric Gérard, Ferraris et Picou, la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône vient de concéder la construction du matériel de l'Usine de Cusset à MM. Brown, Boveri et Cie de Baden pour la partie électrique et à M. Escher Wyss de Zurich pour la partie hydraulique.

L'adjudication a été, comme on le sait, précédée d'un concours primé auquel ont été conviés tous les principaux constructeurs.

Parmi les différents projets qui furent remis, les uns préconisaient la solution par courants triphasés, les autres par courants biphasés, d'autres enfin par courants continus. Toutefois cette dernière solution, quoique présentée avec beaucoup d'ingéniosité par M. Thury, ne pût être prise en considération parce qu'elle ne présentait pas, ainsi que l'a reconnu la commission, les qualités de souplesse et d'élasticité qu'on devait exiger en raison des conditions extrêmement variées de la distribution, qualités que les courants polyphasés possèdent d'une manière plus complète.

Si l'on considère que nous n'avons encore en France, à l'heure actuelle, que quatre stations centrales utilisant des distributions polyphasées, on jugera que le Conseil d Administration de la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône a agi avec beaucoup de sagesse en décidant de faire procéder à un voyage d'enquête sur le fonctionnement des stations polyphasées existant à l'étranger.

L'importance de l'entreprise exigeait pour sa mise en œuvre tous les soins minutieux dont elle a été l'objet. La station de Cusset peut en effet être comparée comme importance actuelle à la station fameuse de la Niagara Fall's Company. On utilise actuellement à la station du Niagara 15 000 chevaux. L'usine de Cusset prévue pour une puissance totale de 20 000 chevaux sera aménagée de suite pour 10 000. L'ancien continent semble enfin se réveiller de sa torpeur habituelle, car, moins de deux ans après la grandiose tentative américaine, on pourra opposer en France une application aussi audacieuse de l'asservissement des forces de la nature.

Nous ferons remarquer des différences assez caractéristiques entre les solutions adoptées par la Niagara Fall's Company et la Société des Forces Motrices du Rhône ; mais, avant de passer à la description du projet définitif, nous croyons intéressant de résumer les projets préliminaires et d'examiner rapidement leurs particularités les plus intéressantes. Nous donnerons ensuite le rapport complet du voyage d'enquête rédigé par MM. Eric Gérard, directeur de l'Institut Monte-

fiore et M. G. Henrard, ingénieur-électricien, chef du service de l'exploitation de la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône. Ce dernier se propose de compléter dans un prochain article la présente description en traitant la question des câbles, des transformateurs et des moteurs.

PROJETS PRÉLIMINAIRES

Le projet Thury par courant continu comportait deux groupes de génératrices à 2 000 volts montés en série. Le réseau était desservi par 5 feeders formés chacun de 3 câbles distincts connectés à l'usine comme dans les

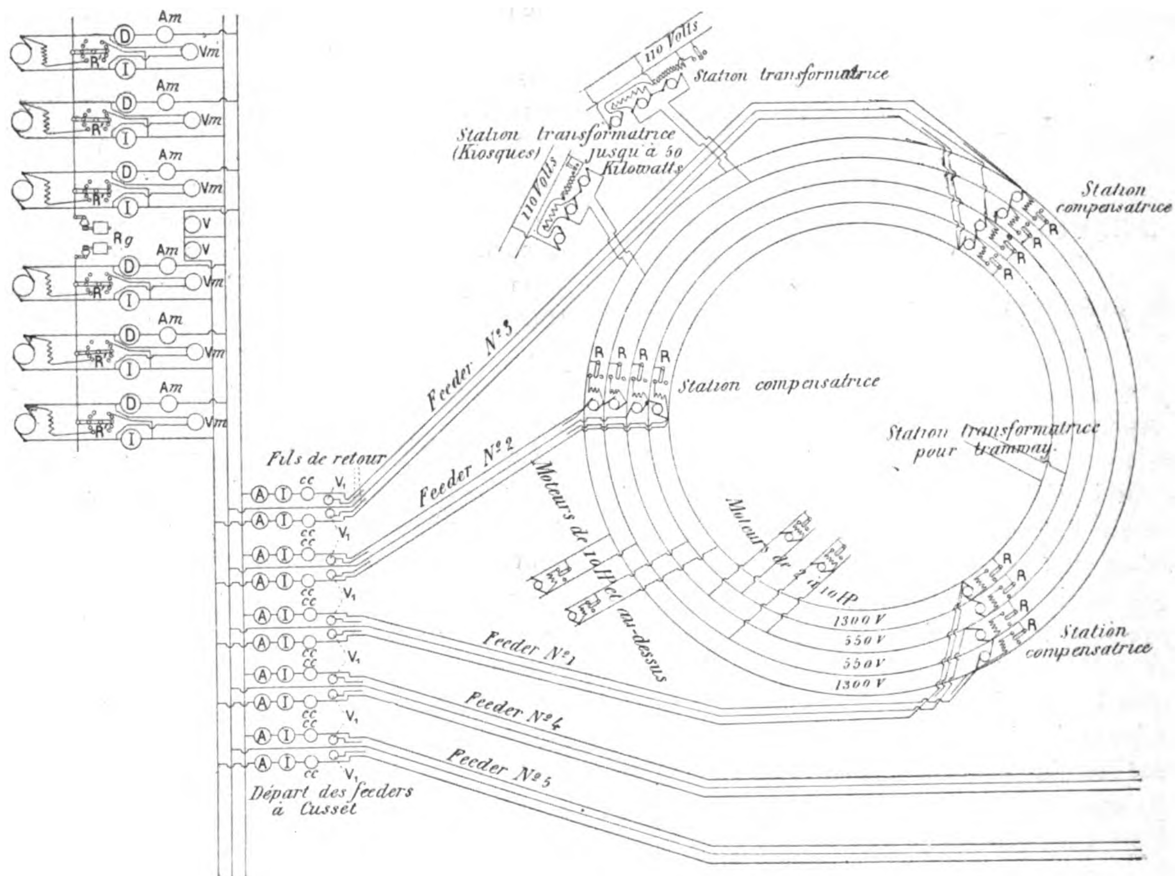


Fig. 1. — Schéma du projet Thury.

distributions ordinaires à 3 fils. Le feeder central était relié à la terre.

Le réseau lui-même comportait un système de 5 fils ; les feeders étaient reliés au câble central et aux extrêmes. Dans chacun des ponts le voltage était fractionné à l'aide de compensateurs de façon à obtenir deux canalisations à 1 300 volts et deux à 550 disposées comme l'indique la figure 1.

Les petits moteurs, jusqu'à 10 chevaux devraient être alimentés directement, ainsi que les moteurs de tramways, par les réseaux à 550 volts. Le feeder central étant, comme nous l'avons déjà dit, relié à la terre, les tramways se seraient trouvés dans les conditions normales d'exploitation habituelle. Les moteurs d'une puissance supérieure à 10 chevaux ainsi que les transformateurs devaient être branchés sur les circuits à 1 300 volts.

Les compensateurs intercalés dans chacun des ponts généraux des feeders étaient gouvernés par des régulateurs différentiels ayant

pour but de maintenir constant le rapport des voltages dans les ponts secondaires.

Les transformateurs pour circuits desservant les lampes à incandescence et les moteurs d'une puissance inférieure à 2 chevaux étaient munis d'un survolteur destinés à compenser les pertes de charges.

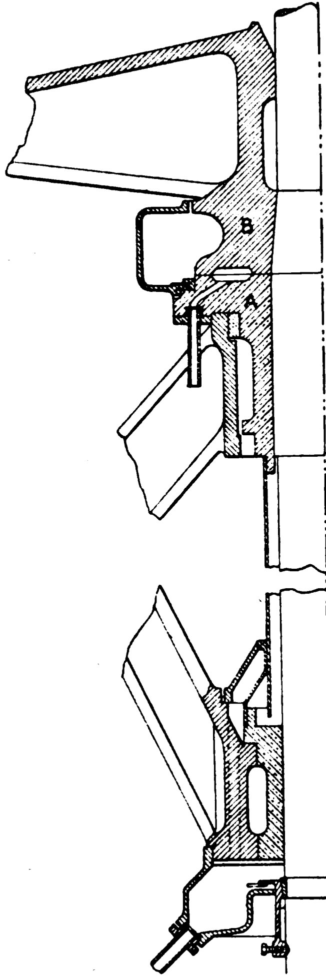


Fig. 2. — Dispositif de graissage.

M. Thury se proposant de présenter luimême ces intéressants dispositifs dans une prochaine conférence au Congrès de Genève, nous ne pouvons, pour le moment, en donner une description complète.

Nous n'insisterons pas sur la description des machines elles-mêmes . elles sont en tous points identiques au type bien connu de la Compagnie l'Industrie électrique.

On en trouvera une description détaillée dans tous les articles publiés sur les installations faites par cette Compagnie et notamment dans celles concernant le chemin de fer électrique du Salève.

Le projet en courants alternatifs (biphasés) de la même Société, comportait, avec une tension initiale de 5 500 volts, une réduction à 2 000 pour les moteurs industriels de puissance moyenne, une réduction à 2 × 110 volts pour l'éclairage et les petits moteurs, et enfin, une transformation du courant alternatif en courant continu pour les agglomérations où l'industrie du tissage acquiert une importance prépondérante. Le service des tramways était également assuré par une transformation analogue à 600 volts.

Sur 10 unités de 1 000 chevaux on en avait prévu 8 à un seul inducteur et 2 à inducteurs indépendants.

Les stations transformatrices étaient en principe conduites par des moteurs synchrones. Toutefois un groupe à moteur asynchrone était prévu pour le démarrage.

Les génératrices étaient à inducteur et induits fixes. On en trouvera une description schématique dans le rapport de M. E. Gérard et G. Henrard que nous publions plus loin.

L'induit est lisse et l'entrefer constant. Les constructeurs ont adopté cette disposition en vue de diminuer la réaction d'induit et d'éviter les vibrations de la machine.

Le dispositif de graissage mérite une mention spéciale. L'huile est envoyée sous pression (30 atmosphères environ) au palier supérieur qui sert également de pivot équilibreur.

Elle s'écoule ensuite, par un tube entourant l'arbre au palier inférieur. Ce pivot à huile a été adopté pour les machines de l'usine de Chèvres. Le schéma ci-joint (fig. 2) en montre des dispositions générales.

La dépense d'huile est de 15 litres à la minute, elle est réglée par un robinet jauge. Ce service est assuré par deux pompes spéciales et un accumulateur approprié.

Les turbines et les régulateurs proposés dans le projet de la Compagnie l'Industrie électrique étant ceux de la maison Escher Wyss concessionnaire de la partie hydraulique; nous réservons l'intéressante description de ce matériel que nous étudierons en détail lorsque nous traiterons du projet définitif.

Nous ne croyons pas devoir décrire les dispositions adoptées pour le tableau central, le tableau des feeders et le mode de réglage de la tension, car elles ne présentent aucune particularité nouvelle.

M. Thury revendique comme avantage spécial de la distribution par courant continu la facilité de faire varier la vitesse des petits moteurs destinés à l'actionnement des métiers à tisser : partisan convaincu du système continu il fait un long procès à l'alternatif; il revendique à l'avantage du courant continu, la simplicité du couplage en parallèle des génératrices, leur propriété d'auto-excitation, la facilité du réglage, qui n'exige que la constance du voltage et permet d'avoir en service simultané des machines fonctionnant à des vitesses différentes, l'indépendance relative du voltage et de la vitesse des moteurs excités en dérivation; il reproche d'autre part aux moteurs asynchrones la complication qu'exige leur construction dans le cas des puissances moyennes lorsqu'on tient à avoir directement des vitesses réduites, ainsi que l'intensité du courant qu'exige leur démarrage; nous ne nous attarderons pas à discuter tous ces arguments car nous n'avons pour but qu'une étude descriptive et non une étude critique qui nous entraînerait fatalement à de trop longs développements; le rapport du voyage d'enquête effectué à ce sujet, aussi bien que les garanties consenties par les adjudicataires établiront très nettement que les distributions polyphasées peuvent être, dès à présent, considérées comme le moyen le plus pratique de transporter l'énergie à distance.

La Société Alsacienne de constructions mécaniques a présenté un très intéressant projet dont chaque partie est méthodiquement discutée. Les turbines prévues sont du type classique Jonval-Kœchlin. Comme disposition particulière nous signalerons le moyen employé pour éviter l'emballement de la turbine; il consiste à faire déclancher par le régulateur de la turbine une soupape qui permet l'arrivée de l'air dans le tube siphonnant.

Le poids de la turbine et de l'alternateur est équilibré par un piston hydraulique.

Le système adopté est le triphasé. Ses avantages sur le biphasé sont très habilement développés dans une longue théorie que les résultats pratiques que nous ferons connaître ci-après nous dispensent de reproduire.

Les alternateurs sont à inducteurs intérieurs et à bobines multiples.

Nous indiquerons, lors de l'examen du projet définitif, les avantages que présente cette disposition sur celle de la bobine unique, genre Mordey. Les tableaux comportent, outre les appareils de manœuvre et de contrôle ordinaires, des appareils spéciaux permettant d'agir sur le régulateur de la turbine ainsi que des appareils à signaux acoustiques et optiques pour commander les manœuvres.

Les appareils de mise en parallèle sont groupés sur un panneau spécial. Ils comprennent : les rhéostats agissant sur les régulateurs, les commutateurs mettant en communication les génératrices avec le panneau, deux voltmètres pour comparer les tensions et un voltmètre différentiel de synchronisation.

Les turbines proposées par le Creusot sont du genre Fourneyron. On fait valoir comme avantages spéciaux de ce type de turbines, l'équilibrage du vannage cylindrique et l'absence de la composante verticale de la pression hydraulique. Par raison d'économie, on propose des turbines centrifuges plutôt que des turbines centripètes en faisant d'ailleurs remarquer que l'autorégulation de ces dernières est loin d'être assez sensible pour pouvoir être prise en considération dans l'application envisagée.

Le distributeur et le récepteur sont cloisonnés en 4 étages superposés pour permettre une utilisation aussi avantageuse que possible aux débits fractionnaires.

On a prévu l'adjonction d'un volant sur l'arbre de la turbine.

Le réglage de l'ensemble des turbines est fait de manière que tous les vannages fonction-

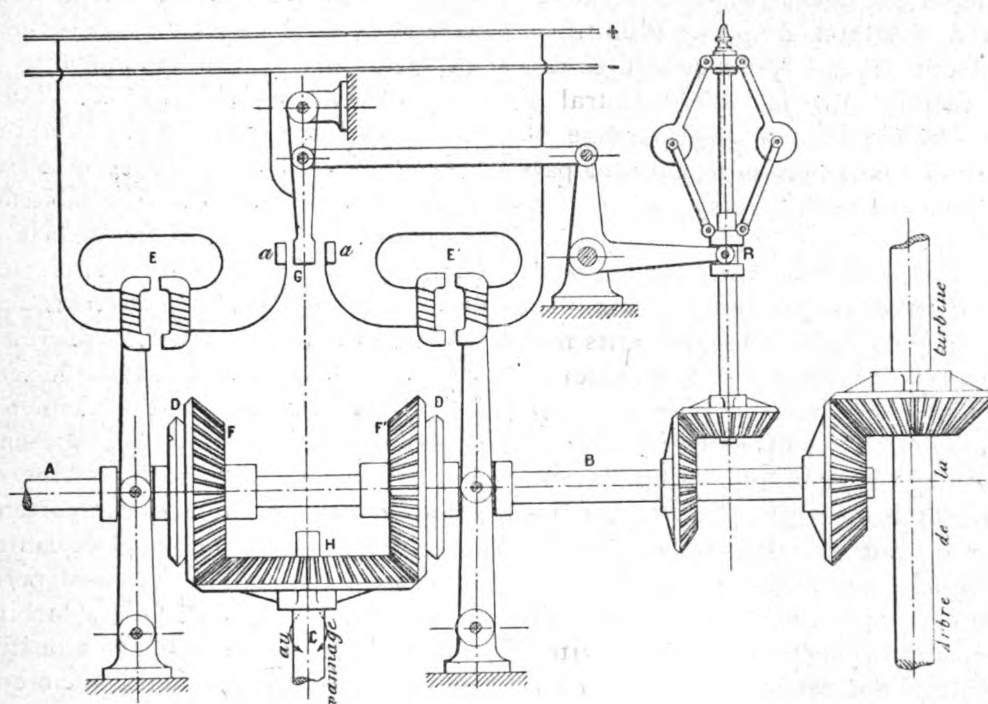


Fig. 3. — Régulateur servo-moteur *Picard* et *Pictet*.

nent d'une façon simultanée et concordante, de telle sorte qu'à chaque instant le travail total à fournir soit également réparti entre toutes les turbines en marche.

Le régulateur servomoteur particulièrement bien étudié par la maison Picard et Pictet, de Genève, est basé sur le principe suivant

Soit un arbre AB (fig. 3), qui reçoit de l'arbre de la turbine, au moyen d'engrenages, un mouvement continu de rotation. Sur cet arbre sont montés deux manchons à friction coniques D et D qui peuvent faire mouvoir, dans un sens ou dans l'autre, par l'intermédiaire d'un double engrenage conique F, F, H, un arbre C qui actionne le vannage.

Le serrage des manchons à friction D et D est provoqué par deux double électroaimants E et E, qui peuvent être excités par un courant continu.

La douille R du régulateur est chargée seulement de provoquer le passage du courant dans l'un ou l'autre électroaimant en déplaçant la pièce G du double contact *a* G *a*.

Ce mécanisme constitue un relai de force ; la douille R du régulateur n'est pas chargée de mouvoir le vannage, mais elle n'intervient que pour mettre en jeu une force plus grande, empruntée par l'arbre AB au moteur lui-même, laquelle est assez puissante pour mouvoir le vannage avec facilité.

La position du vannage est indépendante, de la position de la douille R du régulateur. Tant que cette douille est au-dessus de sa position moyenne le vannage descend, tant

qu'elle est au-dessous le vannage monte. C'est un relai simple.

Or la théorie montre et l'expérience confirme qu'un pareil relai de force est impropre au réglage des moteurs car il conduit infailliblement à des oscillations de vitesse.

Pour qu'un relai donne un réglage satisfaisant, il faut qu'il satisfasse aux trois conditions suivantes : (celui que nous venons de décrire ne satisfait pas à la première.)

1° Le relai doit constituer un « servomoteur »

2° Le régulateur ne doit avoir à développer aucun effort appréciable ; c'est à dire que sa douille, libre de toute entrave, ne doit agir que par sa seule présence dans certaines positions.

Fig. 4. — Relai servomoteur.

3° Les déplacements de la douille doivent entraîner un déplacement instantané du vannage.

Examinons la première condition ; le relai doit contituer un servomoteur. Il faut entendre par là que les déplacements du vannage doivent être la reproduction fidèle des déplacements de la douille R. Les mouvements du vannage pourront être une amplification, par un facteur constant, de ceux de la douille ; mais si celle-ci se déplace par exemple de 1/10 de sa course, le vannage doit immédiatement se déplacer de 1/10 de sa course, ni plus ni moins.

Quoique la différence de fonctionnement entre le relai simple et le relai servomoteur soit capitale, leur construction présente par contre peu de différence. Elle réside uniquement dans la manière de commander le contact *a* G*a*.

Dans le relai servomoteur (fig. 4) le contact G n'est pas commandé par la douille R seule, mais à la fois par cette douille et le vannage V. Une pièce triangulaire I K M est actionnée en K par la douille R et en I par le vannage V.

Fig. 5. — Relai servomoteur.

Son extrémité inférieure M commande le contact G.

La longueur des différents leviers est choisie de façon que la course totale de K, provenant de la douille R, soit égale à la course totale de I, provenant du vannage V.

Enfin, le levier guide Q I est égal au levier P M, de façon à annuler l'effet de l'obliquité de ce dernier, et les organes, non représentés sur la figure 5 sont les mêmes que dans la figure 4.

Il est facile de reconnaître que le vannage

V reproduira exactement tous les déplacements de la douille R.

Si, par exemple, nous supposons que la douille R monte de 1/10 de sa course et reste un instant immobile le triangle I K M basculant autour de I provoquera le contact à droite entre G et *a*. Ce contact amenant le serrage du manchon D, le vannage V descendra immédiatement en soulevant le point I jusqu'à ce qu'il revienne à la hauteur de K, moment où le contact cessera.

Mais, lorsque I sera monté autant que K, c'est que le vannage aura aussi fait le 1/10 de sa course,

Autrement dit, lorsque la douille R s'est déplacée d'une fraction quelconque de sa course, le mécanisme ne revient au repos (I K horizontal) que lorsque le vannage s'est aussi déplacé de la même fraction de sa course.

Ou bien encore, lorsque le relai de force est un servomoteur, il agit sur le vannage comme si celui-ci était attaché directement, par des leviers, à la douille R d'un régulateur infiniment puissant.

C'est à l'analogie absolue de fonction entre ce relai et le servomoteur à vapeur de Farcot, qu'il doit d'avoir reçu le même nom.

La seconde condition imposée se trouve également satisfaite car on ne demande aucun effort à la douille R, autre que celui nécessaire pour provoquer un contact électrique; or un pareil effort atteint à peine quelque grammes et peut être produit par un régulateur à boules sous l'influence de variations de vitesse qui sont tout à fait inappréciables.

Enfin la troisième condition, l'instantanéité est obtenue par le concours de deux moyens.

D'abord, en amplifiant le mouvement de M par rapport au mouvement de R, ce qui s'obtient en choisissant convenablement les proportions des leviers, de façon que les plus petits mouvements de cette douille provoquant le contact dans un sens ou dans l'autre.

En second lieu, en donnant à la transmission qui actionne le vannage des proportions telles que celui-ci parcoure toute sa course en 10 secondes. Il obéit donc avec une grande rapidité aux déplacements de la douille.

Cependant, cela n'est pas encore l'instantanéité absolue qui n'est malheureusement pas réalisable. C'est pourquoi l'adjonction d'un volant sur l'arbre de la turbine est indispensable pour pouvoir satisfaire à toutes les garanties de régularité. Lorsqu'une brusque variation de charge se produit, le volant, qui sert de réservoir du travail, donne le temps au servomoteur d'agir avant que la variation de vitesse ait atteint la limite de garantie.

Pour une résistance au vannage évaluée à 1 500 kg et une course de 0,75 m à parcourir en 10 secondes, la dépense d'énergie électrique des deux paires d'électroaimants du servomoteur n'est que de 35 watts, soit de environ 1/20 de cheval.

Toutes les turbines devaient être asservies à un régulateur unique par l'intermédiaire d'un arbre régnant sur toute la longueur de l'usine et constitué par un tube de fer de 90 mm de diamètre reposant, par des bossages tournés, sur des galets de roulement; grâce au grand moment d'inertie de cet arbre et à la faiblesse des frottements, le retard maximum dû à la tension n'aurait pas atteint pour les turbines 1/10 de la course du vannage.

L'arbre d'asservissement général était lui-même commandé par un servomoteur analogue à celui que nous avons décrit plus haut.

Les alternateurs biphasés, système Zipernowsky comportaient deux induits et deux inducteurs indépendants.

Ils étaient pourvus d'équilibreurs magnétiques destinés à soulager les pivots des turbines.

Pour un effort de 35 tonnes la dépense d'énergie prévue correspondait à 2 kilowatts. Pour l'accouplement en parallèle on avait prévu un rhéostat de charge spécial.

Le projet de MM. Brown, Boveri et Cie ayant

été définitivement adopté par la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône, nous l'examinerons en particulier après avoir fait connaître les résultats du voyage d'enquête.

J. L. Routin,
Ancien élève de l'Ecole Polytechnique,
Ingénieur à la Société Lyonnaise
des Forces Motrices du Rhône.

NOTES SUR LES COURANTS POLYPHASÉS

Au cours d'un récent voyage en Allemagne et en Suisse, entrepris dans le but de visiter les plus récentes installations par courants polyphasés, nous avons été à même d'entendre les opinions des principaux électriciens qui s'occupent de ces questions dans ces deux pays, où les applications de ces courants ont pris dans ces dernières années une grande extension. Nous résumons dans les lignes suivantes quelques-unes des impressions que nous avons recueillies.

Quoiqu'il ait été beaucoup écrit au sujet des courants polyphasés, les publications émanant des ingénieurs ayant construit des appareils ou fait des installations et qui seraient à même de donner les informations pratiques les plus sûres, sont relativement rares. On comprend que les maisons qui ont acquis leur expérience à grand frais mettent le plus tard possible le public au courant de leurs procédés d'étude et de calcul.

D'un autre côté, la lutte toujours vivace entre ces frères ennemis : le courant continu et le courant alternatif, n'est pas faite pour éclaircir la question, car les arguments mis en avant dans l'un et l'autre camp sont parfois bien subtils pour les non initiés.

Il y a quelques années, ces discussions ont rempli des volumes dans les recueils des sociétés techniques des deux mondes et elles faisaient quelque peu songer aux discours que s'adressaient les héros d'Homère avant de combattre. Heureusement que la lutte s'est établie sur un terrain plus pratique. Les installations faites ont permis de juger la valeur des systèmes. On a vu démarrer des moteurs qui étaient condamnés à l'immobilité et le moment n'est pas loin où les adversaires lutteront ensemble pour étendre le champ des applications. Ce but sera atteint lorsque les grands constructeurs seront tous outillés pour produire les divers genres de moteurs, chacun de ceux-ci étant employé dans les conditions les plus favorables : the right motor in the right place.

En ce qui concerne les courants polyphasés, les points qui ont été le plus discutés sont la fréquence, le nombre de phases et le type des alternateurs.

Fréquence. — Depuis l'origine de l'emploi des courants alternatifs, la fréquence a varié dans de larges limites, 25 à 140 environ.

Les basses fréquences sont favorables aux moteurs dont elles réduisent la vitesse et facilitent le démarrage. Elles diminuent les effets d'impédance et de capacité dans les lignes, ainsi que l'effet Thomson ou accroissement de résistance dans les gros conducteurs traversés par les courants alternatifs. Par contre, les hautes fréquences conviennent mieux aux lampes et elles restreignent les dimensions des transformateurs.

Lorsque les applications ne portent que sur la force motrice ou sur l'éclairage, on est libre de choisir la fréquence qui convient le mieux dans chaque cas, d'où les limites extrêmes trouvées. Mais l'on tend de plus en plus vers les applications mixtes aux moteurs et aux lampes, et il est utile, pour ne pas multiplier les types de machines, de choisir la fréquence qui satisfait aussi bien que possible aux divers besoins.

D'après les renseignements que nous avons recueillis, la fréquence 50 serait dans ces conditions. Elle n'est pas excessive pour les moteurs et elle permet d'alimenter les lampes dans de bonnes conditions. Les lampes à incandescence fonctionnent parfaitement sous

cette périodicité. Les lampes à arc scintillent un peu, mais les oscillations sont insensibles à une distance de quelques mètres lorsqu'on a soin d'envelopper le foyer d'un globe légèrement opalin et d'entourer le charbon supérieur d'un petit réflecteur en tôle émaillée. Ces arcs à courants alternatifs ont encore des opposants ; on leur reproche leur sonorité ainsi qu'une infériorité de rendement par rapport aux arcs continus. La sonorité n'est un défaut sérieux que dans les grands arcs. Dans les lampes d'appartement, qui correspondent généralement à moins de 10 ampères, elle peut être rendue insensible. L'infériorité de rendement est compensée par la diminution des pertes dans les résistances additionnelles auxquelles on substitue des bobines à réactance et par la possibilité, grâce aux transformateurs, d'alimenter des arcs isolés ou des arcs en série, en nombre quelconque ; tandis que les arcs continus doivent être montés par paires dans les distributions ordinaires.

Il existe d'ailleurs d'excellents systèmes d'arcs à courants alternatifs, tels que les types Hélios, Siemens et Halske, ainsi que le nouveau modèle différentiel de Schuckert que nous avons vu fonctionner à Nuremberg.

Nombre de phases. — Le nombre de phases à utiliser dans les distributions par courants alternatifs a fait couler des flots d'encre et des torrents d'éloquence. La lutte s'est circonscrite entre les courants triphasés, les courants biphasés et les courants monophasés. Ceux-ci ont pour eux la grande simplicité des circuits, mais ils ne conviennent pas aux moteurs électriques et ne peuvent être défendus que lorsque l'éclairage est l'objet essentiel de la distribution. A Zurich et à Francfort, la puissance des moteurs monophasés en service n'est qu'une fraction infime de la puissance utilisée dans les lampes.

Les courants polyphasés ont le grand avantage de permettre l'alimentation des moteurs à démarrage automatique. En outre, les générateurs polyphasés sont plus économiques que les monophasés, grâce à la meilleure utilisation de la surface disponible de l'induit.

On a soutenu que les courants biphasés conviennent mieux que les courants triphasés parce que les circuits étant plus simples dans le premier cas, les raccordements aux lampes sont plus faciles et donnent lieu à moins de dérangements. On a dit aussi qu'une variation de charge sur l'une des phases, dans le premier cas, influe moins que dans le second cas sur les lampes des groupes voisins. Ce dernier avantage est contesté par les partisans des courants triphasés. Ceux-ci ont l'énorme avantage de permettre une réduction de cuivre de 25 pour 100, pour la même tension limite entre les conducteurs, par rapport aux systèmes monophasés et biphasés [1]. Cette considération capitale a entraîné de grandes firmes à préconiser les courants triphasés : nous citerons les firmes *Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft*, *Siemens et Halske* et *Oerlikon*.

Types d'Alternateurs. — Les alternateurs peuvent être rangés en 3 classes ;

1) Les machines à circuit induit mobile et circuit inducteur fixe ;

2) Les machines à circuit induit fixe et circuit inducteur mobile ;

3) Les machines à circuit induit et circuit inducteur fixe et fer tournant.

1) Le premier type, qui est le plus ancien, n'est plus employé que dans les appareils de faible et moyenne puissance. Il a l'avantage de limiter les parties dans lesquelles se produisent les pertes par hystérésis et par courants de Foucault, ainsi que de restreindre les dimensions des conducteurs induits et partant la chute de tension dans ces derniers. Par contre, ce modèle a l'inconvénient de rendre mobile des conducteurs ordinairement traversés par des courants à haute tension et d'exiger des commutateurs nécessitant des soins spéciaux.

[1] Voir *Économie comparative du courant monophasé et des courants polyphasés*, par H. Georges (*L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 462 et 512 : 9 et 16 mars 1895).

2) Il y a une tendance très accusée dans les grands alternateurs modernes à constituer l'induit à l'aide de la couronne extérieure fixe et à faire tourner les inducteurs excités par des courants à basse tension. Le noyau laminé de l'induit porte un bobinage en tambour qui peut être posé sur le noyau, passé dans des rainures profondes ou dans des trous de l'armature.

Les inducteurs sont de modèles différents. Le plus souvent ils comportent une couronne de noyaux chaussés chacun d'une bobine excitatrice et pourvus d'épanouissements polaires convenables. Dans certains types de MM. Brown et Boveri, il n'y a qu'une bobine pour deux noyaux : les noyaux simples en fonte alternent avec les noyaux en fer bobinés.

On a beaucoup préconisé, il y a quelques années, les inducteurs à bobine unique et à projections polaires de polarités alternées. L'expérience a fait reconnaître des inconvénients graves à cette disposition qui réduisait la dépense d'excitation. Une grande bobine inductrice tournante est sujette à des déplacements de spires, par suite à des dilatations des conducteurs, et par conséquent à une usure par frottement. Si quelques spires sont ainsi mises en contact, le défaut ne se remarque pas, parce que le nombre d'ampères-tours reste sensiblement constant ; le défaut s'aggrave peu à peu et un court-circuit général finit par ce produire, ce qui met l'alternateur hors service. Dans un inducteur à bobines multiples, une bobine en court-circuit n'est pas un obstacle à la marche de l'appareil. Lors de l'arrêt de celui-ci, on peut remplacer facilement la bobine défectueuse par une bobine de rechange.

Un défaut plus grave des inducteurs à bobine unique est le grand développement des pièces polaires qui accentue les déperditions de flux sous l'influence des réactions d'induit, ce qui amène une chute de tension entre la marche à vide et la marche en pleine charge s'élevant dans certains appareils à 30 pour 100. Dans ces conditions le réglage des lampes devient impossible, lorsque les circuits comprennent des moteurs à démarrages fréquents.

On arrive à corriger l'effet d'une réaction d'induit trop forte de la génératrice en disposant, près des moteurs alimentés, un moteur synchrone à grand moment d'inertie tournant à vide et faisant fonction de volant. S'il se produit une chute de tension résultant d'un démarrage, le moteur synchrone fait fonction de génératrice en vertu de son inertie, et supplée momentanément de l'énergie, ce qui empêche une chute de tension et un décalage trop sensibles.

3) Depuis quelques années, on a beaucoup étudié les alternateurs à circuits inducteur et induit fixes et à fer tournant. Essayés aux États-Unis par MM. Stanley et E. Thomson, ces alternateurs ont été surtout développés en Europe par l'*Industrie Électrique*, de Genève, par les ateliers d'*Oerlikon* et par l'*Allemeine Elektricitäts Geselschaft*.

Les figures 1, 2 et 3 montrent les principales dispositions adoptées.

Ces dispositions suppriment tout conctact mobile et donnent une solidité plus grande aux alternateurs. Certaines firmes hésitent toutefois à adopter le principe du fer tournant en prétextant qu'il oblige à fonctionner à plus hauts flux dans le fer, ce qui augmente les courants de Foucault ; on prétend également que la réaction d'induit est plus grande dans ces machines que dans celles à inducteurs tournants. La vérité est que l'expérience n'est pas suffisante pour permettre de porter un jugement définitif. Les résultats imparfaits fournis par certaines machines peuvent provenir d'une mauvaise proportion de celles-ci et non d'un vice de système.

Réaction d'induit. Valeurs du facteur de puissance. — Quoiqu'il en soit, la condition essentielle du bon fonctionnement des alternateurs polyphasés sur les circuits mixtes comprenant des moteurs et des lampes est une chute de tension aussi faible que possible à excitation constante, entre la marche à vide et la marche en pleine charge ; cette chute de

tension ne doit, en aucun cas, dépasser 15 p. 100 de la tension totale sur les circuits de moteurs et 5 pour 100 sur les circuits de lampes.

Ce qui donne une importance si grande à cet élément est le courant et le décalage considérables des moteurs polyphasés lors des démarrages brusques, ce qui amène dans les lampes une baisse subite à laquelle on ne peut remédier assez rapidement. Il faut que par lui-même l'alternateur maintienne suffisamment la différence de potentiel aux bornes, pour qu'il n'y ait pas de variation d'éclat sensible dans les lampes. C'est de ce côté que péchaient surtout les premières installations polyphasées.

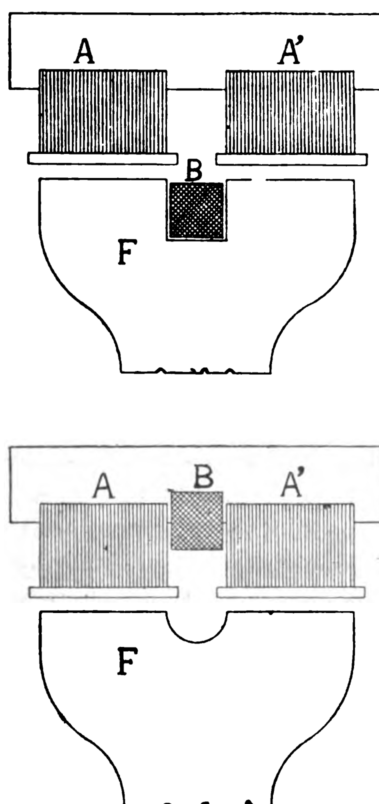


Fig. 1 et 2. — Type Brown et Boveri. — 2. Type Oerlikon,
AA', noyaux laminés portant deux enroulements induits ; B, bobine inductrice fixe ; F, armature en fer, tournante.

L'effet utile des alternateurs et des lignes dépend de la nature des appareils qu'ils desservent. Les appareils sans réactance, tels que les lampes, donnent un décalage sensiblement nul, tandis que les moteurs donnent une valeur du facteur de puissance comprise entre 0,65 et 0,85, suivant leur puissance et leur mode de démarrage. Dans les circuits mixtes de moteurs et de lampes, il est bon de compter sur une valeur moyenne de ce facteur comprise entre 0,70 et 0,75.

Moteurs polyphasés. — Le succès des distributions polyphasées est dû à la simplicité des moteurs qu'elles utilisent et à la facilité que donnent les transformateurs pour raccorder ces moteurs à des canalisations à haute tension.

Les moteurs polyphasés de 1/10 à 10 chevaux se construisent ordinairement pour des tensions de 100 à 500 volts, les moteurs de 10 à 30 chevaux pour des tensions de 500 à 2 000 volts. Les moteurs de 50 chevaux peuvent s'enrouler pour la tension de 3 000 volts et ceux de 75 chevaux pour 5 000 volts.

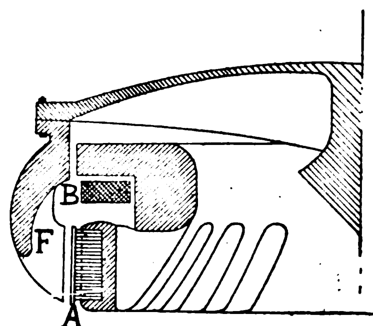


Fig. 3. — Type Thury. — A, noyau laminé portant l'enroulement induit fixe ; B, bobine inductrice fixe ; F, cloche en acier portée par l'arbre vertical d'une turbine et pourvue de saillies conduisant des faisceaux de lignes de force devant l'armature.

Par suite de leur simplicité et du peu d'entretien qu'ils nécessitent les moteurs polyphasés peuvent être placés sur des consoles élevées ou sur les piliers des fermes, afin de ne pas occuper de place sur le sol. Avec les

graisseurs à bagues, une visite hebdomadaire est suffisante.

L'opinion dominante, dans les premières années de l'emploi des alternomoteurs, était que les grands moteurs doivent plutôt être du type synchrone que du type asynchrone. Actuellement, on est arrivé à donner aux moteurs asynchrones un rendement équivalent à celui des moteurs synchrones et, eu égard aux facilités que les premiers présentent pour démarrer et vaincre des surcharges momentanées, ils sont actuellement préconisés par les grands constructeurs.

Il est curieux de constater combien l'accord s'est fait rapidement sur les meilleures dispositions à adopter pour les moteurs polyphasés, à tel point qu'il faut une certaine attention pour distinguer entre eux les moteurs des diverses firmes. Cet accord est d'autant plus remarquable que les divergences sont restées très accusées entre les moteurs à courant continu de divers contructeurs.

Pour les moteurs polyphasés, il y a certaines conditions primordiales qui ont unifié les types. La nécessité de réduire les entrefers a fait adopter d'une manière générale la denture des noyaux ou la perforation de ceux-ci, tant pour le passage des circuits inducteurs que pour celui des circuits induits. Toutes les carcasses sont laminées pour éviter les courants de Foucault. Le bobinage en tambour est accepté par tous les constructeurs pour les induits. C'est celui qui donne lieu aux moindres dérivations de flux. Les induits des petits moteurs sont à cage d'écureuil. Les seules divergences que l'on constate ont rapport aux procédés de démarrage.

Ces procédés dépendent des distributions auxquelles les moteurs sont raccordés. Lorsque ces distributions n'alimentent que des moteurs, que ceux-ci peuvent supporter des variations momentanées de vitesse et, enfin, lorsque les génératrices sont puissantes relativement aux moteurs, il n'y a pas d'inconvénient à admettre le démarrage brusque en charge pour des moteurs à circuit fermé dont la puissance ne dépasse pas une dizaine de chevaux.

Quand, au contraire, la distribution alimente des lampes ou des moteurs, tels que ceux des métiers, pour lesquels la vitesse doit être tout à fait régulière, toutes les précautions doivent être prises pour éviter les démarrages trop brusques. Le moyen le plus généralement employé dans les cas semblables est l'introduction dans le circuit de l'induit de résistances qu'on élimine graduellement. Avec les grands moteurs, on cherche autant que possible à démarrer le vide en se servant d'une poulie folle ou d'un embrayage. L'introduction des résistances dans l'induit, nécessite des bagues et des contacts mobiles, mais ces appareils n'ont pas les inconvénients des collecteurs des moteurs à courant continu à cause de leur continuité et de leur simplicité.

Grâce à ces résistances, il est possible de démarrer avec le courant normal dans les inducteurs pour obtenir le couple normal, avec un courant double, pour obtenir le double du couple normal et avec un courant triple pour obtenir le triple du couple normal. Nous avons eu l'occasion d'exécuter chez MM. Siemens et Halske, à Berlin, et chez MM. Brown et Boveri, à Baden, des expériences confirmant ces indications.

Notons en passant la forme des freins dont nous nous sommes servis pour les expériences. Chez MM. Siemens et Halske, le frein du type Prony appuyait par une de ses extrémités sur le plateau d'une bascule chargée des poids correspondant au couple que l'on voulait obtenir (fig. 4).

Chez MM. Brown et Boveri, la poulie du moteur recevait une lanière de cuir, dont une extrémité était tenue à la main et l'autre extrémité fixée à un dynamomètre à ressort. En modifiant la surface d'enroulement de la lanière, on fait très aisément varier le couple résistant (fig. 5).

Les résistances de démarrage sont généralement solides ; les résistances liquides tendent à être abandonnées par suite de l'en-

tretien qu'elles nécessitent. Il est bon de munir les appareils de démarrage d'une commande par vis sans fin pour obliger les ouvriers à les déplacer lentement.

On a proposé, il y a quelques années, d'enfermer les résistances de démarrage à l'intérieur de l'induit et de les mettre en court circuit, lorque la vitesse de régime est

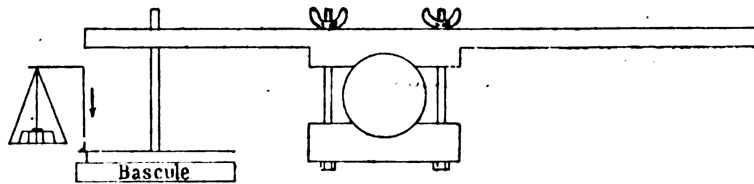


Fig 4. — Frein du type Prony employé dans les essais chez MM. Siemens et Halske.

atteinte, à l'aide d'un collier glissant sur l'arbre de la machine ; mais ce dispositif n'est plus employé.

Un système plus simple, que nous avons vu essayer par la firme Siemens et Halske, à

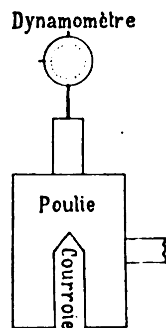


Fig. 5. – Frein a ruban employé chez MM. Brown et Boveri.

Dresde, et dû à M. Georges. Le bobinage de l'induit comporte deux circuits pour chacune des phases. Ces circuits, de nombres de spires différents, sont en opposition au démarrage, de manière que leurs forces électromotrices antagonistes ne produisent qu'un courant de l'ordre du courant normal. Lorsque la vitesse de régime est atteinte, une bague glissant sur l'arbre met les bobines en parallèle, comme dans la cage d'écureuil, à l'aide de connexions figurées en pointillé (fig. 6) de sorte que les courants qui le traversent prennent leurs intensités normales. Quand, pour des raisons spéciales, par exemple, à cause du grisou dans les charbonnages, on ne peut admettre de contacts mobiles, on adopte les induits en court-circuit et, pour atténuer les courants de démarrage

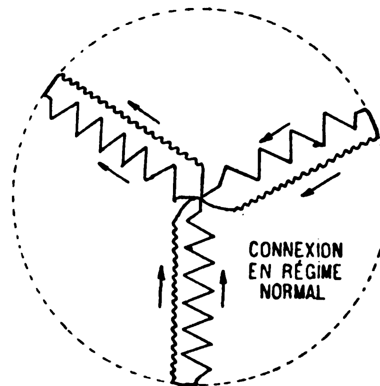


Fig. 6.

dans les inducteurs, on utilise divers artifices qui sont, en général, moins efficaces que les précédents. Parmi ces artifices, le plus employé est l'auto-tranformateur placé dans le circuit des inducteurs et qui permet, par exemple, de doubler approximativement le courant de démarrage, en réduisant de moitié environ la tension aux bornes des inducteurs.

Soient m, n (fig. 7), les bornes d'un des circuits. Le transformateur porte deux bobines égales ac, bc, disposées en série sur un noyau fermé et les extrémités a, b sont reliées à la distribution. Si l'on réunit m à c le circuit mn est traversé par un courant venant par ac.

Mais ce dernier aimante le noyau et produit dans *cb* une force électromotrice qui détermine un courant s'ajoutant à celui de *ac* dans le circuit *mn*. Le démarrage effectué, on réunit directement *m*, *n* au circuit d'alimentation.

Quels que soient les moyens employés pour démarrer, il est toujours bon de ménager une certaine élasticité dans les appareils de transmission. La courroie qui permet un glissement initial est indiquée dans la plupart des cas. Lorsque son emploi n'est pas possible, comme dans les ascenseurs, grues, ponts roulants, on peut intercaler dans l'accouplement un ressort qui se tend pendant une partie de la première révolution du moteur.

Nous avons vu un artifice de démarrage spé-

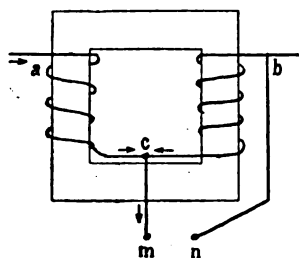


Fig. 7. — Auto-transformateur pour augmenter le courant de démarrage.

cial chez M. Schuckert pour les pompes où le couple initial est grand par suite de l'inertie des colonnes d'eau. On met, au démarrage, les deux extrémités du corps de pompe en communication par un tuyau, de sorte qu'au départ l'effort exigé du moteur se borne aux frottement de la pompe. Une fois celle-ci en vitesse, on ferme le conduit et l'eau est refoulée dans la colonne.

Nous avons vu, chez MM. Brown et Boveri, une voiture de tramway destinée à Lugano (¹) et pourvue de moteurs triphasés avec résistances de démarrage dans l'induit. Cette application déjà tentée par d'autres firmes aurait l'avantage d'éviter les corrosions de tuyaux auxquelles sont sujettes les transmissions à courants continus ; mais elle rencontre de grandes difficultés. L'impédance des circuits, qui comprennent deux fils de trôlets et le retour par les rails, amène une majoration des forces électromotrices utilisées. De plus, si l'on veut faire varier la vitesse du moteur il faut introduire dans l'induit des résistances qui absorbent une grande partie de l'énergie utile. Il est vrai que l'on peut procéder comme avec les moteurs continus ; avec ceux-ci on ne maintient pas les résistances de réglage en circuit, mais on procède généralement par impulsions, en donnant graduellement à la voiture sa vitesse normale et en coupant le moteur lorsque celle-ci est atteinte.

(¹) Voir *Le tramway électrique à courants triphasés de Lugano* (*L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 365 ; 22 février 1896).

Le réglage de la vitesse est une difficulté avec les moteurs polyphasés.

On peut obtenir des vitesses variant dans les rapports 1 : 2 : 3, en modifiant le couplage des pôles inducteurs ; mais pour obtenir des variations graduelles, il faut introduire dans l'induit des résistances qui amènent une dépense d'énergie sérieuse.

Aussi les constructeurs recommandent-ils, lorqu'on doit varier la vitesse des moteurs polyphasés, de recourir à des moyens mécaniques, tels que les poulies coniques, les embrayages à disques normaux, etc.

Ajoutons qu'en revanche, les moteurs polyphasés permettent d'assurer la constance de la vitesse d'une manière parfaite. Cette constance est liée à la fréquence des génératrices. Avec les moteurs continus, au contraire, l'échauffement des circuits, qui amène des modifications de résistances, oblige à des réglages.

Nous avons vu, à Zurich, fonctionner des petits moteurs polyphasés dans des tissages de soie, où la vitesse doit être tout à fait constante.

On peut dire qu'au point de vue du prix et du rendement les moteurs polyphasés sont actuellement équivalent aux moteurs à courant continu. Les petits moteurs polyphasés, à cage d'écureuil, se prêtent mieux à une fa-

brication mécanique que les moteurs continus et s'obtiendront à un prix plus avantageux lorsque la fabrication en sera étendue et que les droits de brevets seront tombés.

Transformateurs polyphasés. — Les transformateurs employés dans les circuits parcourus par des courants polyphasés peuvent être simples ou conjugués. Dans le système triphasé, par exemple, on peut utiliser trois transformateurs simples distincts ou combiner trois noyaux munis de culasses communes et portant chacun les enroulements primaire et secondaire correspondant à l'une des phases. Ce dernier système est le plus économique et le plus répandu. Le premier a l'avantage d'éviter que les divers courants ne réagissent aussi fortement les uns sur les autres lors d'une variation brusque de l'un d'eux.

On a soin d'alterner les sections primaires et secondaires sur chacun des noyaux des transformateurs, de manière à réduire les déperditions de flux qui amènent une chute de tension secondaire. Celle-ci peut être restreinte à 2 pour 100 dans les circuits de lampes et à 6 pour 100 dans les circuits de moteurs, de la marche à vide à la pleine charge.

Pour les gros moteurs, il est prudent de prévoir des transformateurs d'une puissance nominale de 50 pour 100 supérieure à la puissance en watts réels des moteurs correspondants et il est bon de dériver plusieurs moteurs sur un même transformateur. Si l'on a affaire à des moteurs de forte puissance, il est utile d'employer des transformateurs spéciaux pour les moteurs et pour les lampes.

Equilibreur de tension. — Si, dans une distribution triphasée, les diverses branches sont inégalement chargées, il en résulte des différences de tension qu'il est difficile de régler à l'usine. Les moteurs dérivés sur trois circuits ont une tendance à égaliser la tension de ceux-ci. Dans le même but, on peut disposer dans les réseaux secondaires des appareils dits équilibreurs, formés d'une carcasse à trois noyaux identique à celle des transformateurs : ces trois noyaux portent simplement trois bobines dérivées en triangle sur les trois circuits. S'il se produit une chute de tension dans l'un d'eux, les bobines reliées aux deux autres sont parcourues par des courants plus intenses et tendent à relever la tension dans la branche défectueuse.

Conducteurs. Réseaux. — Les sections des conducteurs employés pour les courants alternatifs sont limitées par l'effet Thomson, qui accroît la résistance en obligeant le courant à se porter vers la surface du conducteur. On ne dépasse pas, sous les fréquences ordinaires, les sections de 300 à 350 mm, qui sont d'ailleurs trop élevées pour les lignes aériennes. Dans ces dernières, l'écartement qu'on est obligé de donner aux fils amène une impédance qui se détermine par les tableaux dressés par M. Kennely. On diminue cette impédance, en subdivisant les conducteurs et en alternant, dans les faisceaux aériens, les conducteurs reliés aux pôles de la génératrice.

On a renoncé complètement aux isolateurs à l'huile, qui nécessitent un entretien difficile ; on préfère les grands isolateurs à double et à triple cloche.

Dans les lignes souterraines, on fait usage de conducteurs concentriques ou de conducteurs tordus enfermés dans la même armature. Dans ces conditions, l'impédance est négligeable.

Les effets de capacité jouent dans les câbles souterrains un rôle considérable. Par suite de la résonance due à l'action combinée de la capacité des lignes et de la self-induction des génératrices, on peut arriver à des courants très intenses à circuit ouvert, c'est à dire sans qu'aucun appareil récepteur ne soit raccordé.

Ces effets croissent très rapidement avec la tension adoptée, c'est une des causes qui limitent la tension admissible dans les réseaux souterrains parcourus par des courants alternatifs.

Une autre cause de limitation de la tension réside dans la difficulté de l'isolement des câbles. On emploie ordinairement comme isolants le papier ou une autre substance à base de cellulose. Bien préservés, ces isolants ont une durée indéfinie. Les épaisseurs utilisées croissent rapidement avec la tension et les prix des câbles, suivant une progression, dont on aura une idée par le tableau suivant, extrait du catalogue d'un fabricant :

2 câbles concentriques de 100 mm² de section, fabriqués pour 2 000 volts, coûtent	8 958 fr le km.
2 câbles concentriques de 100 mm² de section, fabriqués pour 3 000 volts, coûtent	9 840 »
2 câbles concentriques de 100 mm² de section, fabriqués par 4 000 volts, coûtent	11 642 »
2 câbles concentriques de 100 mm² de section, fabriqués pour 5 000 volts, coûtent	13 090 »

Peu de firmes conseillent de dépasser 4 000 volts avec les câbles isolés au papier. Au-delà, elles conseillent parfois le caoutchouc, substance moins stable que la cellulose et dont la durée ne peut être aussi longue.

La tension limite varie d'ailleurs avec l'étendue des réseaux, par suite des effets de capacité.

Le coût des grands faisceaux d'artères de câbles souterrains a fait étudier divers artifices pour en diminuer le prix. On sait qu'au Niagara, les câbles principaux sont des conducteurs nus posés sur des isolateurs dans un tunnel.

A Genève, la maison Berthoud, Borel, de Cortaillod, essaie des conducteurs nus posés dans des tranchées et noyés dans un béton formé de brai et de gravier. Ce béton possède une certaine élasticité propre à éviter les fissures sous les efforts d'écrasement. L'avenir dira la confiance qu'on peut avoir dans ces conduites.

Afin de donner une idée de l'application des courants polyphasés, nous décrirons sommairement les installations que nous avons vues à Dresde et à Chemnitz, et qui ont été effectuées par la firme Siemens et Halske.

Installation triphasée de Dresde. — L'usine électrique alimente à la fois des lampes et des moteurs par les mêmes réseaux de distribution, dans la gare de Dresde et les ateliers et remises de l'administration des chemins de fer saxons.

Le mode de distribution adopté a été imposé par cette administration.

La figure 8 représente le schéma des connexions.

Comme on le voit, toutes les lampes sont raccordées à une seule branche du réseau et les moteurs aux trois branches.

Les ingénieurs de l'administration des chemins de fer ont cru devoir exiger cette disposition pour assurer la régularité de la lumière.

Quand on utilise un système semblable de distribution, on peut recourir supplémentairement à des génératrices monophasées pour l'éclairage ; celles-ci ont cependant l'inconvénient d'une puissance plus faible à poids égal. Le rapport des puissances à poids égal est de 50 pour 100.

L'usine de Dresde comporte en ce moment quatre génératrices de 300 chevaux chacune, servant de volants à des machines à vapeur tandem ; celles-ci, du système Hofner, ont une puissance nominale de 300 chevaux effectifs, mais sont capables d'en développer 330, le cas échéant. Les machines à vapeur tournent à raison de 100 révolutions par minute et sont à détente variable par le régulateur. Un dispositif spécial permet de régler la vitesse du tableau de distribution, et de l'amener à la valeur exacte du synchronisme, pour effectuer l'accouplement des alternateurs en parallèle. Un petit moteur électrique logé près du mécanisme de distribution peut agir

sur le contrepoids du régulateur de façon à en modifier l'efficacité. Le croquis ci-joint (fig. 9) donne une idée de la disposition.

Le moteur peut tourner dans les deux sens et permet d'obtenir ainsi un réglage parfait de la vitesse.

Les excitatrices des alternateurs sont disposées sur l'arbre même de ceux-ci ; elles servent à la fois à l'excitation des génératrices, à l'alimentation des petits moteurs de régularisation de vitesse des machines à vapeur et à l'éclairage de la station.

Les dynamos triphasées sont à basse tension à la demande de l'administration des

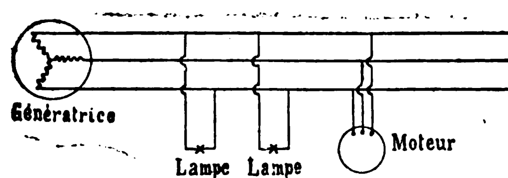


Fig. 8. — Schéma des connexions du réseau de Dresde.

chemins de fer, qui redoutait la manipulation à la station d'engins à tension élevée. On transforme de 110 volts en 3 000 volts pour les réseaux.

L'unité choisie pour les transformateurs est 100 kilowatts. Dans les locaux où le courant doit être utilisé, on fait des stations secondaires de transformateurs avec les unités de 50 kilowatts au minimum.

Toutes les excitatrices peuvent être branchées sur un même réseau, sur lequel sont dérivés les circuits inducteurs des alternateurs dont on règle le courant au moyen de rhéostats.

Les câbles qui relient les alternateurs aux tableaux de distribution sont portés sur des piliers en treillis.

Les tableaux sont partagés en deux groupes distincts, se rapportant l'une à la haute tension, l'autre à la basse tension et au réglage des alternateurs.

Sur le tableau de basse tension sont placés pour chaque alternateur :

a) Un interrupteur tripolaire général.

b) Un interrupteur simple d'excitation, à rupture sur charbon.

c) Un interrupteur bipolaire servant à connecter l'excitatrice correspondante aux barres communes d'excitation.

d) Un rhéostat d'excitation pour l'excitatrice.

e) Un rhéostat de champ magnétique pour l'inducteur de l'alternateur.

f) Un kilowattmètre.

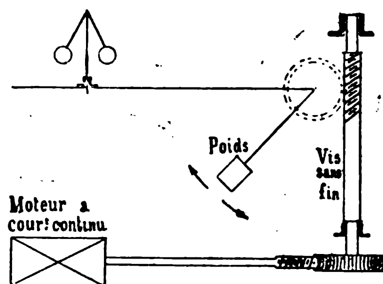


Fig. 9. — Dispositif permettant de régler, du tableau de distribution, la vitesse des moteurs à vapeur.

g) Un ampèremètre dans le circuit à lumière.

h) Un ampèremètre pour l'excitatrice.

k) Un ampèremètre dans l'excitation de l'alternateur.

Le panneau central de ce tableau porte les appareils de mesure généraux et les appareils de couplage, soit :

1° Un voltmètre de grand modèle sur le circuit de lumière et un voltmètre de petit modèle sur les autres circuits.

Ces voltmètres peuvent être reliés à volonté à l'un ou l'autre alternateur au moyen d'interrupteurs à directions multiples. L'indicateur de phases comporte simplement deux lampes à incandescence, dont la connexion aux alternateurs à coupler en parallèle est indiquée par la figure 10.

En face de ce tableau se trouve le tableau de haute tension qui ne porte que le strict nécessaire, c'est à dire un interrupteur par feeder au circuit principal, un ampèremètre, des sûretés et enfin des indicateurs de terre d'un modèle nouveau ; ce sont des électromètres

Kelvin à haut voltage dérivés entre chacun des conducteurs et la terre ; en conséquence, ils donnent une indication tant qu'une perte à la terre ne s'est pas produite sur le câble correspondant.

Les sûretés générales sont des fils de cuivre minces, placés dans des tubes de verre remplis de talc.

Le champ d'action de cette station s'étend dans un rayon de six kilomètres. Les moteurs

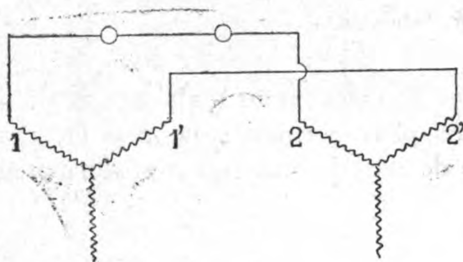


Fig. 10. — Connexion de l'indicateur de phases des alternateurs.

sont très nombreux. Un d'eux actionne une pompe centrifuge logée au fond d'un puits de 9 mètres de profondeur ; le moteur est placé à la surface. Les autres moteurs actionnent soit par engrenages, soit par courroies, les gros outils de l'atelier des réparations, des ascenseurs, des transbordeurs de locomotives des ponts roulants, et l'on installe en ce moment des grues électriques avec moteurs de 45 chevaux. Toutes les lignes à haute tension sont aériennes, avec réseaux de garde à la partie inférieure du faisceau de fils de ligne.

Il est important de signaler que l'éclairage de la gare centrale des chemins de fer Saxons est faite au moyen de lampes à arc placées sur les réseaux communs à la puissance de motrice et à la lumière. Cet éclairage est particulièrement brillant et fixe.

Les locaux intérieurs de la gare sont partiellement éclairés à l'incandescence ; nous y avons noté la même régularité.

A notre demande, on a exécuté en notre présence des accouplements d'alternateurs en parallèle. Le régulateur spécial de vitesse, manœuvré du tableau de distribution et qui met la nouvelle machine au point, ainsi que l'indicateur de phase, permettent un accouplement aussi facile, sinon plus simple, que celui de machines à courant continu de haute tension.

Usine électrique de Chemnitz (Saxe). — Cette usine ne comporte en ce moment que 450 chevaux, mais on l'agrandit pour l'amener à une puissance de 1 000 chevaux.

Comme dans toutes les installations polyphasées de Siemens, le courant est distribué sous la forme triphasée et engendré par des alternateurs donnant 2 000 volts dans chaque branche du réseau. Les lampes et les moteurs sont répartis sur les trois phases.

Les chaudières de la station centrale sont du système Steinmuller avec chargeur automatique du combustible.

Les machines à vapeur sont du type vertical, à triple expansion, et pourvues d'un régulateur spécial de vitesse identique à celui utilisé à Dresde.

Les trois alternateurs sont attaqués directement par les machines à vapeur ; chaque alternateur peut développer une puissance de 150 chevaux et fonctionne à la tension de 2 000 volts.

Le tableau de distribution est plus simple encore que celui de Dresde.

Les canalisations sont souterraines et comportent des câbles concentriques de la maison Siemens et Halske, avec isolement au papier.

Les transformateurs ont trois noyaux et sont au nombre de 24 répartis dans la ville de Chemnitz ; ils sont en général de 50 kilowatts chacun et logés dans les kiosques utilisés également pour la réclame. La nuit, le ronflement des transformateurs est très sensible.

Tous les réseaux primaires sont reliés entr'eux, de même que tous les secondaires. Le rayon d'action d'un transformateur est au maximum de 500 mètres et la perte admise dans les calculs de 1 1/2 pour cent pour chaque dérivation.

La perte maxima consentie sur les réseaux primaires, les transformateurs y compris, est de 4 pour cent ; cette perte représente la variation de voltage aux bornes des secondaires des transformateurs, de charge nulle à charge maxima.

On règle le voltage de 2 000 volts à la station d'après celui du réseau secondaire pris

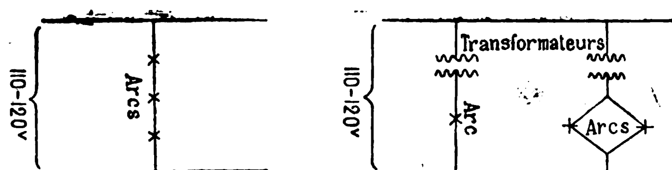


Fig. 11. — Distribution de M. Schenmitz.

aux bornes des transformateurs. A cet effet, une bobine spéciale est enroulée sur l'armature fixe des machines et calculée de façon à donner 25 volts ; pour tenir compte du décalage et pour permettre la mise en phase à l'aide de cette bobine, un transformateur de

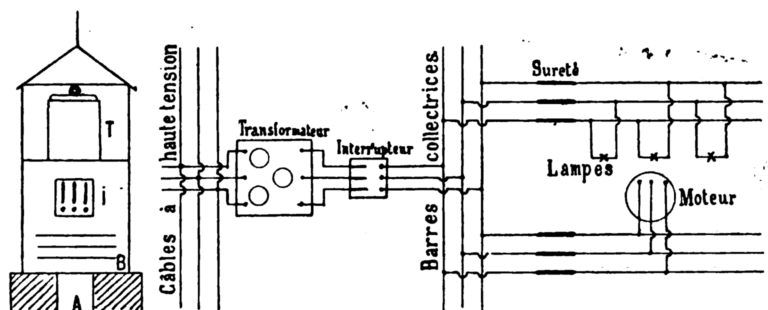


Fig. 12 et 13. — Disposition des arcs en série et en parallèle.

rapport 1/1 retransforme ces 25 volts en un voltage décalé dans la même proportion que le voltage du réseau.

C'est ce dernier, ramené à la station par fils pilotes, qui sert de base à l'accouplement en parallèle des alternateurs. On s'aide, comme à Dresde, du voltmètre, de l'indicateur de phase et du régulateur spécial de vitesse pour effectuer l'accouplement.

Le tableau est moins soigné que celui de Dresde, les interrupteurs de haute et basse tension y sont mêlés. En ce qui concerne les interrupteurs de haute tension, on n'a pas, comme à Dresde, ménagé de grands intervalles isolants aux interrupteurs, ce qui a occasionné, en cas de mauvaise manœuvre, la circulation d'étincelles sur le tableau. A Dresde, les interrupteurs de haute tension sont derrière le tableau et manœuvrés à distance par les leviers,

Les kiosques de transformateurs sont au nombre de 24, répartis dans les rues de la ville.

On trouve à l'intérieur le transformateur T (fig. 11) qui occupe la partie supérieure, un interrupteur tripolaire I, des barres collectives de basse tension B ; les câbles arrivent par le soubassement et sont réunis aux barres par des sûretés générales.

L'éclairage est réalisé par des groupes de trois arcs en série sur 110 à 120 volts, sans addition de résistances (fig. 12), ou bien au moyen de petits transformateurs pour une ou deux lampes en parallèle (fig. 13).

(1) Voir l'*Éclairage Électrique*, t. II, p. 263 ; 9 février 1895.

Nous nous sommes renseignés très exactement chez les particuliers relativement à la marche des moteurs en service sur les réseaux de la ville et à la régularité de la lumière là où elle est employée séparément ou simultanément avec la force motrice. Voici les renseignements recueillis dans quelques-unes des installations visitées.

A) Application chez un charcutier d'un moteur de 10 chevaux pour le hachage de la viande et la fabrication des saucisses.

Ce moteur attaque une transmission intermédiaire, et les mêmes câbles qui amènent le courant au moteur fournissent également la lumière dans le magasin et dans les ateliers. Le propriétaire qui produisait auparavant lui-même la force motrice et la lumière, trouve sa nouvelle installation avantageuse.

La lumière et la puissance lui sont vendues à des prix différents, au moyen de compteurs séparés.

La puissance est comptée à raison de 18 pf. le k w-h

La lumière est comptée à raison de 70 pf. le k w-h.

B) Une teinturerie emploie un moteur de trois chevaux pour actionner une petite pompe et un ascenseur; le moteur est le seul de toute la ville qui possède un rhéostat dans les inducteurs; on exige maintenant partout des rhéostats dans l'induit. La variation constatée dans la lumière au moment du démarrage est cependant insignifiante; le client ne s'en plaint nullement. Aux essais de mise en marche on a constaté une variation de 1,5 volt du voltage.

La Compagnie n'accepte les moteurs étrangers à sa fabrication qu'à la condition que la variation de voltage au démarrage soit inférieure à 2 %.

C) Dans une boulangerie, un moteur de trois chevaux actionne des pétrins mécaniques et différents appareils d'un usage courant pour la confection des pâtisseries. Le client est très content; aucune variation de lumière ne se remarque au démarrage ou à l'arrêt du moteur.

D) Nous avons également rencontré l'emploi des moteurs triphasés à la mise en mouvement d'essoreuses dans une teinturerie; on semblait satisfait de leur marche.

E) Durant une heure environ, nous avons examiné la lumière à incandescence d'un restaurant, branchée sur les réseaux de l'usine électrique; nous n'avons pu remarquer aucune variation, la lumière était parfaitement fixe.

Conclusion.— Nous avons décrit ces deux installations, comme nous aurions pu en décrire d'autres que nous avons vu en Suisse, et qui sont faites par des firmes diverses, pour montrer que l'on peut considérer comme résolu le problème de l'alimentation simultanée des moteurs et des lampes sur les réseaux polyphasés. Les conditions du succès sont :

1) L'emploi des génératrices à faible réaction d'induit, d'une puissance suffisante par rapport à celle des moteurs.

2) La limitation entre des bornes convenables de la perte de tension dans les câbles.

3) L'usage de moyens de démarrage des moteurs permettant de ne pas dépasser les courants normaux.

On peut dire qu'avec ces précautions, les distributions par courants polyphasés donnent des résultats aussi satisfaisants, quant à la régularité, que celles à courant continu, avec l'énorme avantage d'utiliser les transformateurs pour les transmissions à grande distance et de supprimer le collecteur divisé des moteurs continus.

Eric Gérard
Directeur de l'Institut électrotechnique Montéfiore

Georges Henrard
Ingénieur du service électrique de la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône

LES LAMPES A ARC (1)

Les figures 1 à 12 représentent l'une des plus récentes dispositions de la lampe *Jandus*, dont

(1) *L'Éclairage Électrique*, 15 février 1896, p. 38.

nous avons déjà eu l'occasion d'entretenir nos lecteurs (¹).

Cette lampe se distingue par quelques détails de construction pratiques et simples. Son ensemble est groupé autour d'un tube A, qu'entoure l'électro-aimant à cage ajourée B, pôle cônique B_1 et solénoïde en série C, avec armature D, également troncônique, dont le frein circulaire à anneaux d_4 se desserre, par son appui sur d_3, quand l'armature D tombe comme en figure 1, pour se resserrer et enlever le porte-charbon R quand D monte en entraînant l'anneau a_5, qui maintient ceux du frein dans les encoches correspondantes de D.

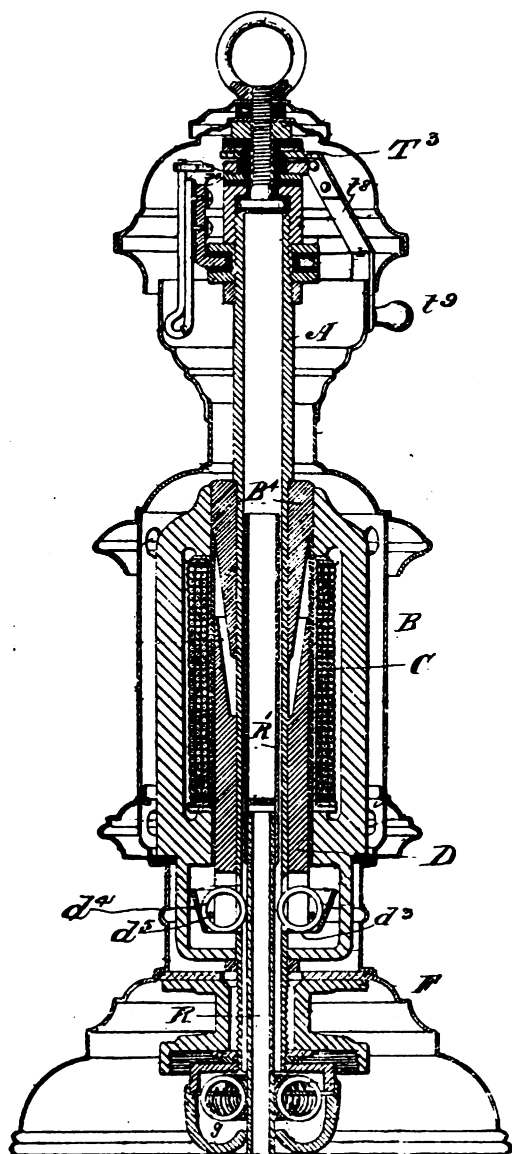


Fig. 1. — Lampes *Jandus* de 1895. Détail du solénoide.

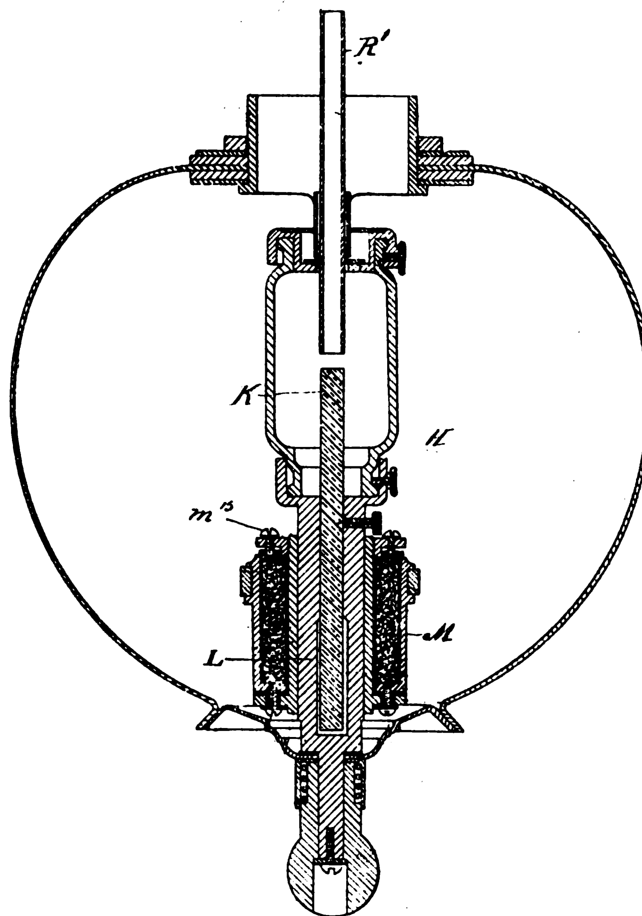


Fig 2. — Lampe *Jandus*. Détail du globe.

L'une des bornes c_1 du solénoïde est reliée à une tringle c_3 (fig. 4), dont la vis c_5 du coulisseau c_4 peut piquer au travers de l'isolant des fils de c, de manière à en détourner du circuit le nombre de tours que l'on veut, et à fixer ainsi à volonté la puissance moyenne du solénoïde.

Le courant passe, du fil positif u (fig. 3) par T_1 T E c A, les balais g_5, le porte-charbon A_1, l'arc, le porte-charbon L, le rhéostat M, à charbons M_1 et contacts réglables m_{15}, son support H_1 (fig. 7), H, h, F, J, S et le con-

(¹) *L'Éclairage Électrique*, 15 février 1896, p. 325.

ducteur négatif u_1. Un commutateur à ressort T_3 t_8 (fig. 9), manipulé par t_9, permet de couper facilement la lampe du circuit.

Les charbons sont, comme dans la lampe précédente de Jandus, renfermés dans un petit globe auxiliaire à peu près étanche, et, de plus, le charbon positif R est tubulaire (fig. 12) ce qui donne un rayonnement lumineux du cratère plus avantageux que les charbons pleins (fig. 10 et 11) et, en outre, ils durent, dans l'atmosphère confinée des lampes Jandus, paraît-il, aussi longtemps que les charbons pleins dans l'atmosphère libre des autres lampes.

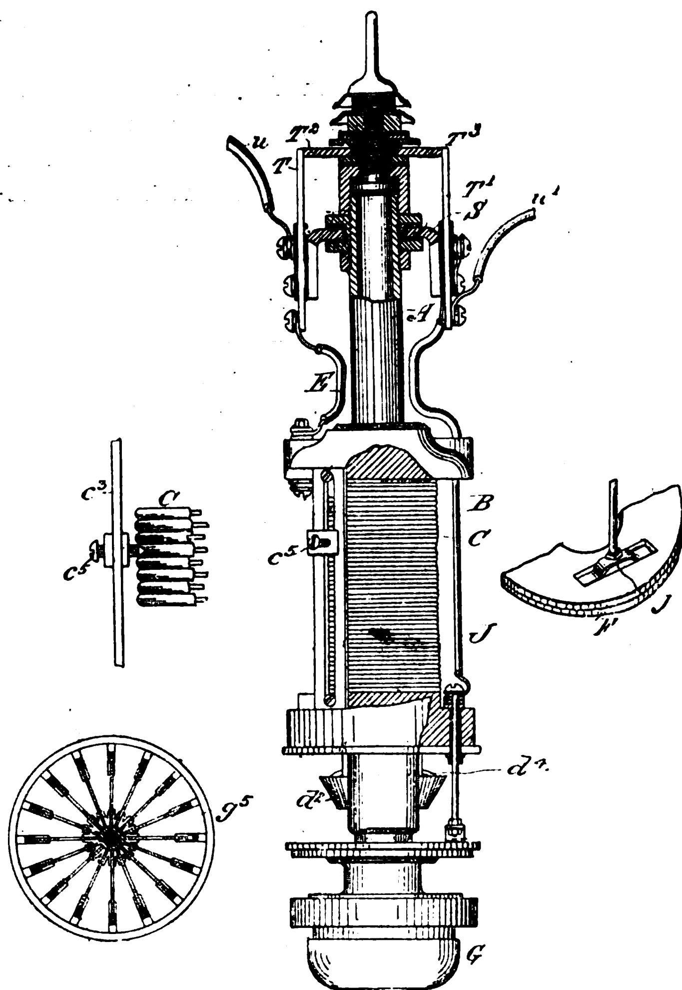


Fig. 3 à 6. — Lampe *Jandus*, ensemble et détails du solénoide.

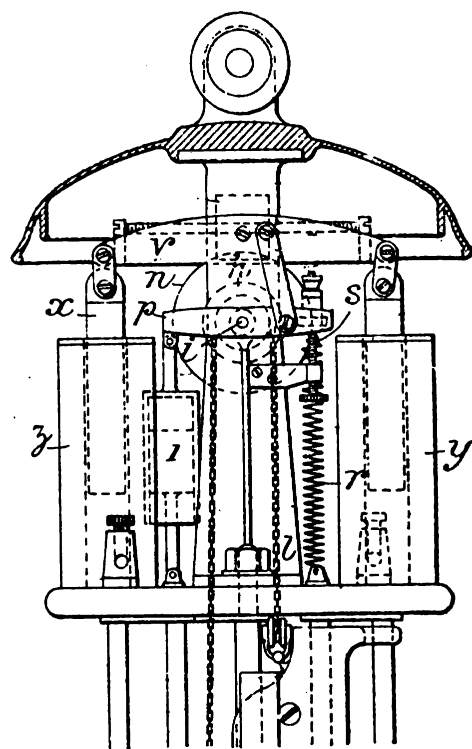


Fig. 13. — Lampe *Davy* (1893).

La régularisation de la lampe différentielle *Davy* s'opère comme il suit (fig. 13 à 16), au moyen des électros en série z et en dérivation y: au départ, les charbons sont au contact. Dès que le courant passe, l'armature x de z soulève par v, t, et le cadre p, pivoté en i, le levier o, autour de son axe horizontal, perpendiculaire à i, de manière qu'il se coince sur la jante de la poulie de suspension n, la soulève et amorce l'arc. Dès que l'arc augmente, l'électro en dérivation y abaisse, par v, t, p, le levier o jusqu'à sa butée s, de manière qu'il laisse les charbons se rapprocher par leur propre poids avec une vitesse réglée par le léger frottement qu'il continue à exercer sur n.

Dans la lampe double du même constructeur, le cadre oscillant pv (fig. 16) soulève

d'abord les deux leviers o et o_1 dont le support s_1 de l'un d'eux, o_1 par exemple, est réglé de façon qu'il sépare le premier sa paire de charbons, mais à une trop longue distance pour amorcer leur arc ; puis c'est le levier o de la seconde paire de charbons qui les sépare et les fait brûler jusqu'au bout. Après quoi le levier o_1 rentre en jeu et actionne la première paire de charbons.

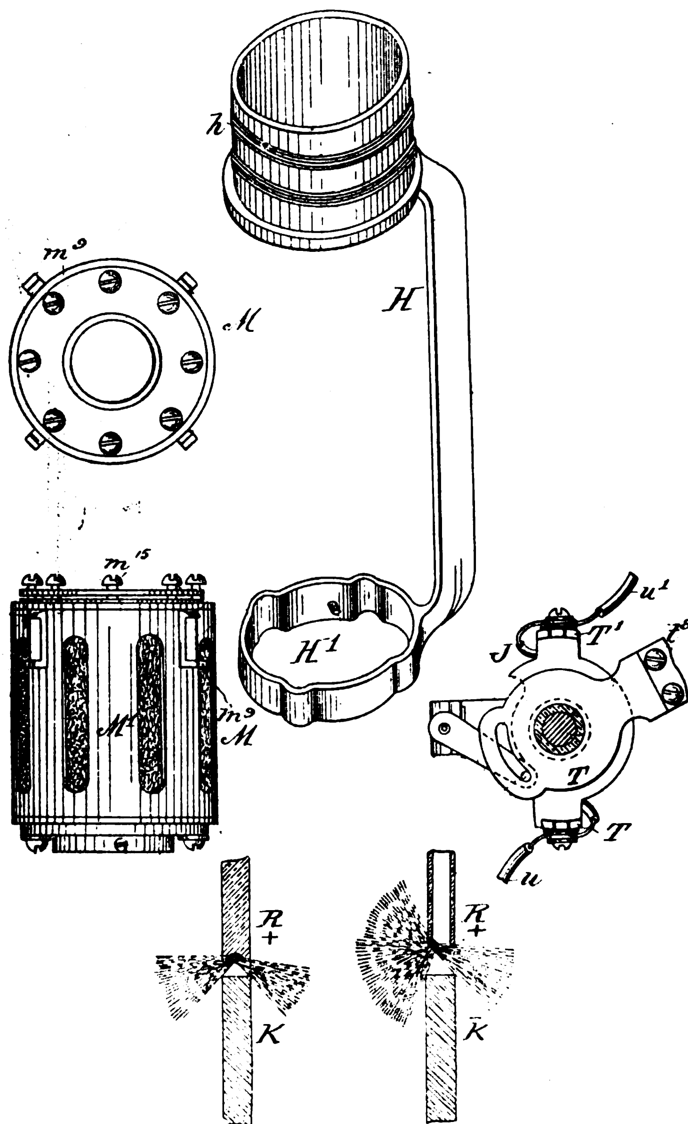


Fig. 7 à 12. — Lampe *Jandus*, détails du porte-charbon.

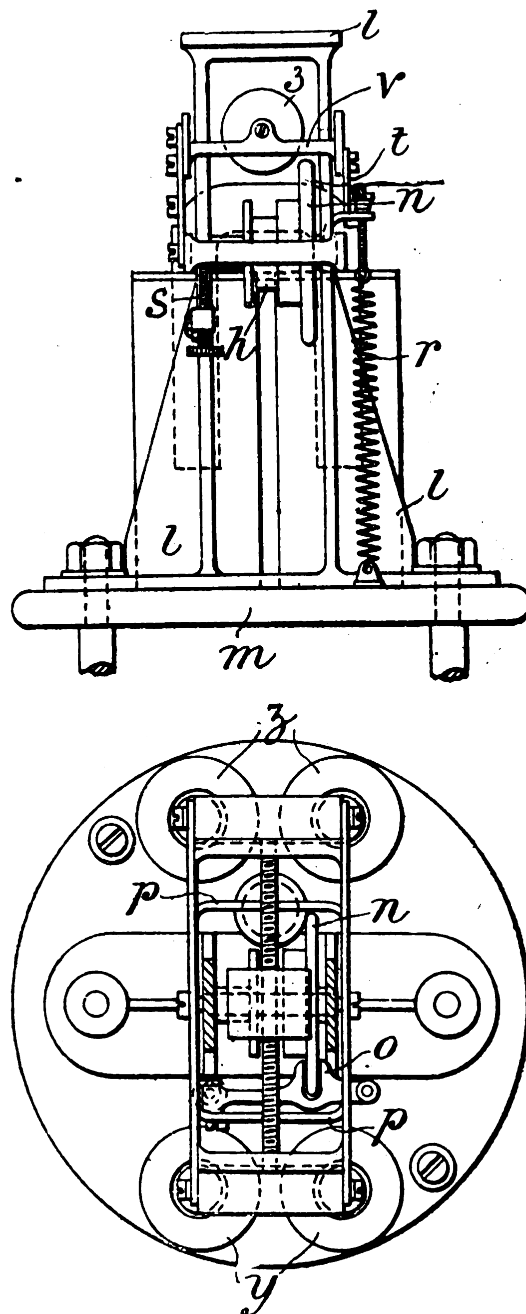


Fig. 14 et 15. — Lampe *Davy*.

Le fonctionnement de la lampe différentielle double de *Quin* et *Symmonds* repose sur 'emploi d'un mécanisme d'embrayage très ingénieux et fort simple représenté en détail par la figure 20. Ce mécanisme consiste en un double embrayage cônique *dg*, dont la figure ne représente qu'une moitié. Quand on fait tourner le disque *b* actionné, comme nous le verrons, par les électros en série *a* et dérivé *a'*, la vis *c* enfonce le cône *d*, empêché de tour-

ner par le pendule e (fig. 18) dans le cône de la roue de suspension g, et l'entraîne, mais seulement dans le sens de la séparation des charbons, ramenés vers le contact par leur poids. Un mécanisme semblable, également commandé par b, actionne la roue g' de la seconde paire de charbons ; mais son cône d' est réglé avec un retard sur d tel qu'il n'entraîne sa roue g' qu'après la combustion de la première paire de charbons.

Au départ, les charbons sont au contact. Dès que le courant passe, a, attirant le pôle en

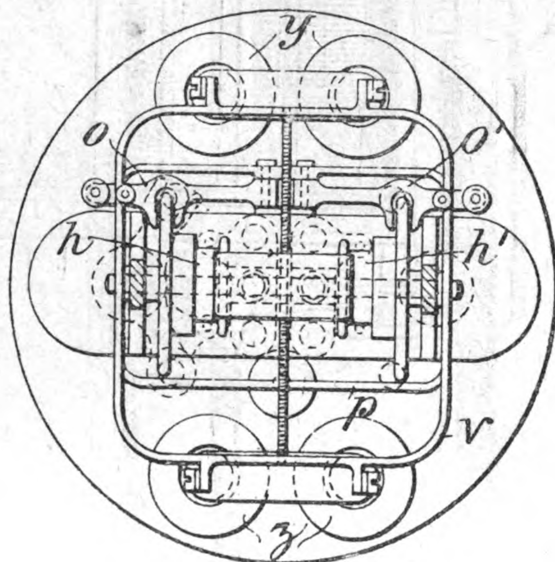


Fig. 16. — Lampe double *Davy*.

fer b_2 du disque de cuivre g, le fait tourner dans le sens correspondant à l'écartement des charbons, écartant ainsi successivement les deux paires de charbons, mais l'une trop pour qu'il puisse s'y maintenir un arc. Dans l'autre paire, l'arc, une fois amorcé, se maintient par le jeu différentiel des électros a et a_1, secondé par les pendules e et e' ; puis, à la fin de la première paire de charbons, la seconde la remplace automatiquement, comme dans la lampe précédente.

Le globe est fermé par un joint hydraulique au pétrole lourd n, avec soupape de sûreté p, et réglage de l'entrée d'air par le renifflard q; la suspension se fait par des tiges s à vis de pression t, et pistons de sûreté guidés en r, les rattrapant en cas d'un lâcher de s.

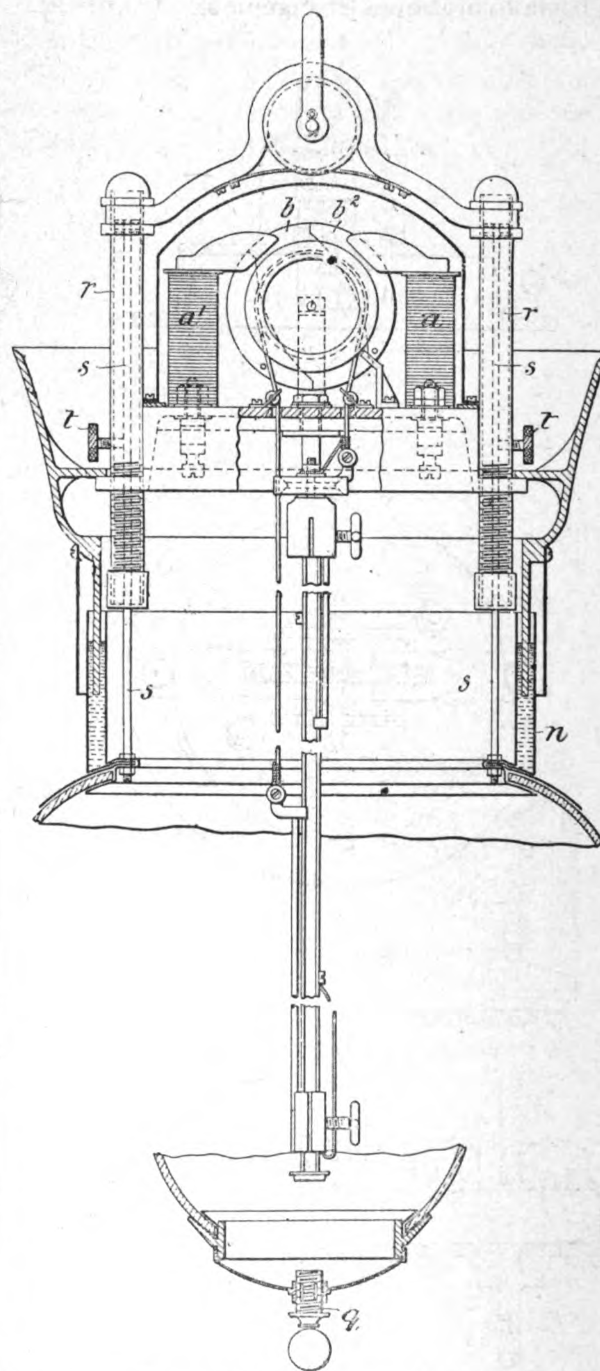
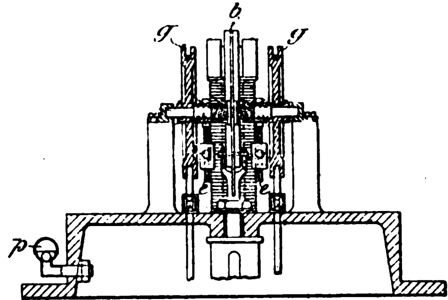


Fig. 17. — Lampe *Quin* et *Symmonds*, (coupe *x x* fig. 19), 1895.

Le fonctionnement de la lampe différentielle *Adams* représentée par les figures 21 à 26

est des plus simples, et son mécanisme soigneusement étudié se distingue par quelques détails pratiques et ingénieux.



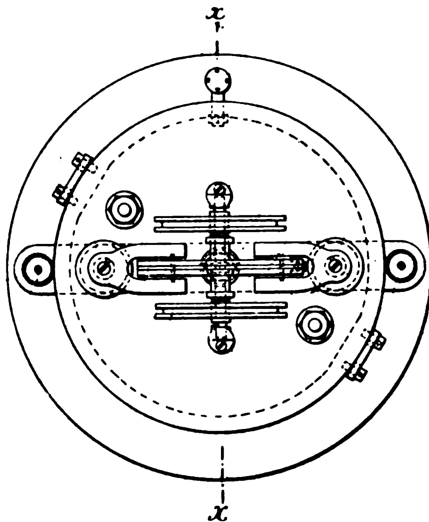


Fig. 18 et 19. — Lampe *Quin* et *Symmonds*.

Au repos, les pièces occupent les positions indiquées figure 21. Les contacts en charbon D et I sont fermement appuyés par le poids

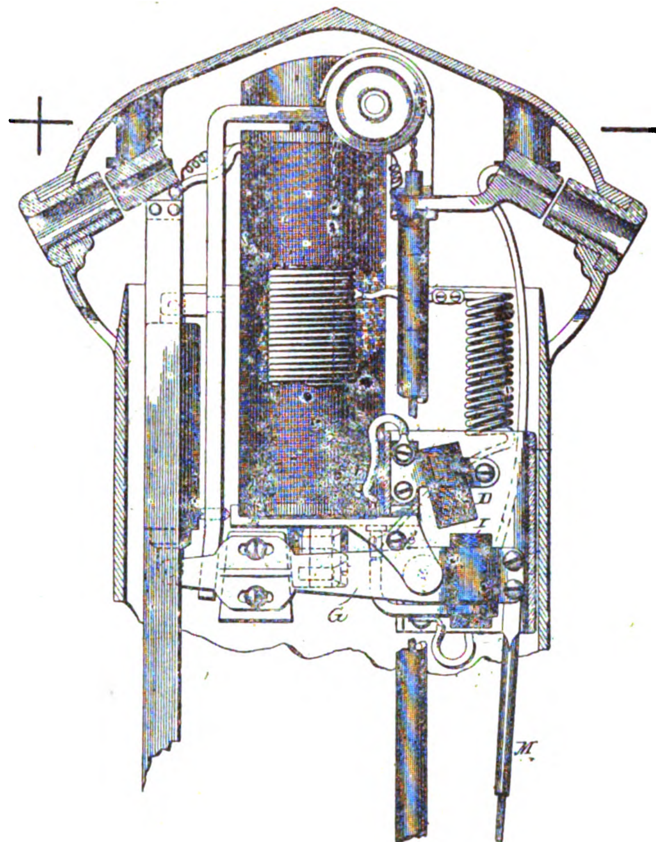


Fig. 21. Lampe *Adams* (1895).

de l'armature C et du piston de son dash pot en *g*, et les charbons sont séparés. Dès le pas-

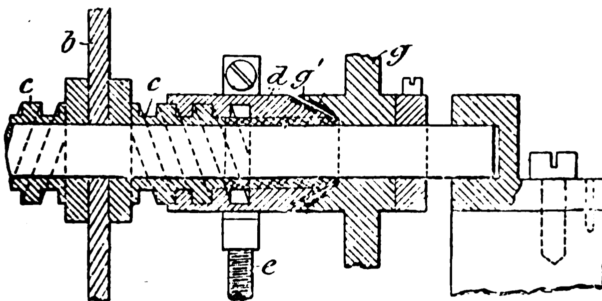


Fig. 20. — *Quin* et *Symmonds*, détails de l'embrayage.

sage du courant, le solénoïde à gros fil B, attirant l'armature G, comme en figure 22, sépare D de I, et imprime à C un lancé suffisant pour amener les charbons au contact par le lâché du frein M' (fig. 23) du charbon supérieur, après quoi, G retombe suffisamment pour établir l'arc, qui se maintient ensuite par le jeu des enroulements différentiels A et B. Quand l'arc s'allonge, la tige M, abaissant le levier N, autour de N' (fig. 23) lâche le frein N M'O', et laisse les charbons se rapprocher; puis, l'arc une fois rétabli à sa longueur normale, N, serre O sur N M' par sa poussée sur *o'* (fig. 26). Si l'arc s'allonge trop, le contact JK se ferme, dérivant le circuit de l'arc sur la résistance L, sans interrompre le circuit des autres lampes en série. Si, ensuite, les charbons retombent au contact, le courant, dérivé immédiatement de L sur ces charbons, dont la ré-

sistance est beaucoup plus faible que celle de L, les sépare de nouveau, comme précédemment.

On remarquera, comme détails de construction, le pivotement du levier G sur des pointes *ff* à serrage réglable par une vis e_3, comme par H_3 (fig. 25) celui de I et de J dans G. La position du support G_1 du dash pot peut aussi se régler par une vis g_4 (fig. 21).

Les charbons *m* et *l* de la lampe *Barrière*

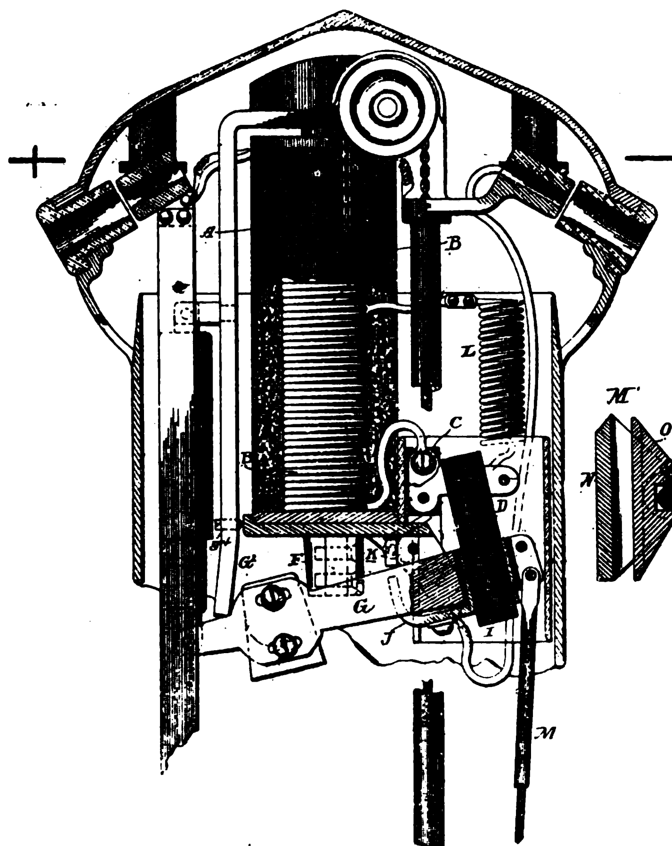


Fig. 22. — Lampe *Adams*.

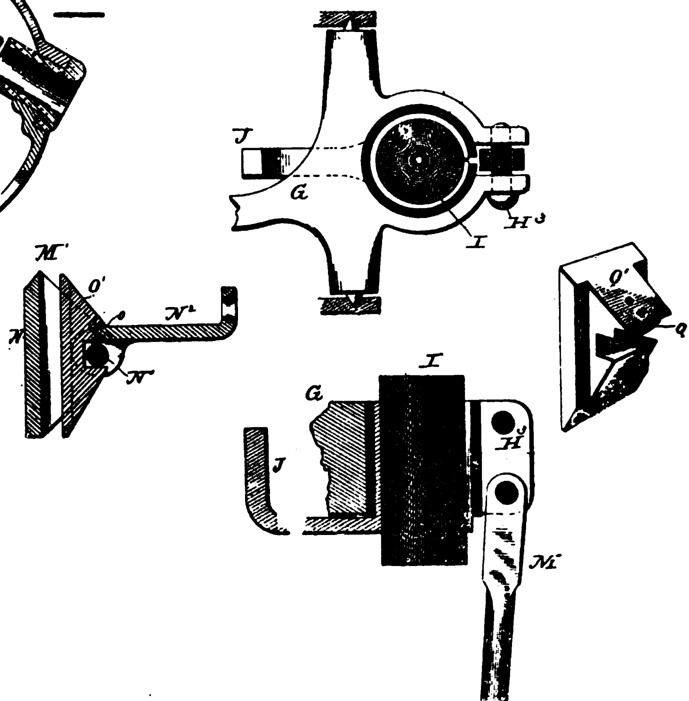


Fig. 23 à 26. Lampe *Adams*, détail.

sont (fig. 27) conjugués par une bande *k* ; au repos, les armatures mobiles *e* et *f* des électros en série et dérivés *b* et *c* sont au bas de la course, et *c* serre le frein o_1 sur la roue *o*, en même temps qu'il ferme en $p\,p_1$ le circuit de l'électro dérivé. Quand on lance le courant avec les charbons alors séparés, *c*, attiré de bas en haut, desserre le frein qui laisse les charbons se rapprocher au contact par leur poids ; mais ce mouvement ne s'opère pas d'un seul coup, car la montée de *c* rompt en même temps le contact de $p\,p_1$, de sorte que *c*, rappelé par son ressort, arrête *o*, et ainsi de suite, rapprochant les charbons peu à peu et graduellement, par un mouvement saccadé. Aussitôt les charbons au contact, le courant passe de *c* dans l'électro serré à gros fils *b*, dont l'armature remontée fait, par *h*, osciller le levier *j*, malgré son ressort j_2, dans le sens de la flèche, de manière à descendre la poulie j_6 autour de j_1, et à écarter les charbons par la descente de *l* ; l'arc ainsi amorcé se maintient ensuite, comme il est facile de le comprendre d'après ce qui précède, par le jeu différentiel des électros *b* et *c*.

Cette lampe peut servir aussi bien pour les courants alternatifs que pour les courants continus ; mais, dans le cas des courants alternatifs, les armatures fixes *d* et mobiles *g* des solénoïdes sont creux (fig. 32) et remplis

de fils de fer doux isolés les uns des autres afin d'en augmenter la sensibilité. On peut aussi sans changer le reste du mécanisme remplacer les solénoïdes par des électro-aimants avec armatures à rappel par ressort, solution peut être préférable pour les courants alternatifs.

On sait qu'il faut, en général employer, avec les lampes à courants alternatifs à potentiel constant, des charbons d'excellente qualité ; on a même proposé, pour en faciliter la mise en train, l'emploi de charbons à noyau

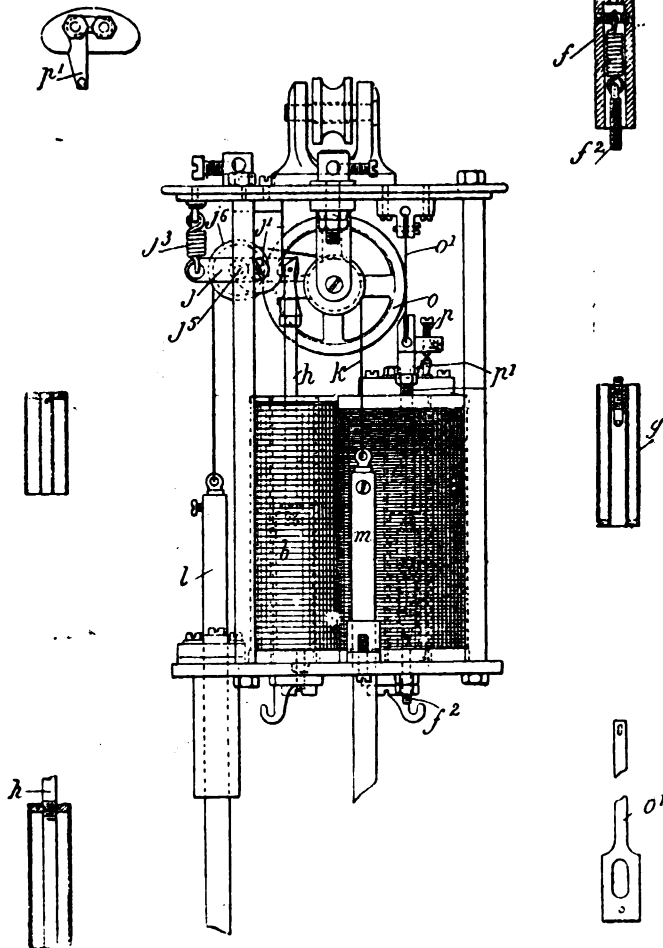


Fig. 27 à 33. — Lampe *Barrière* (1895).

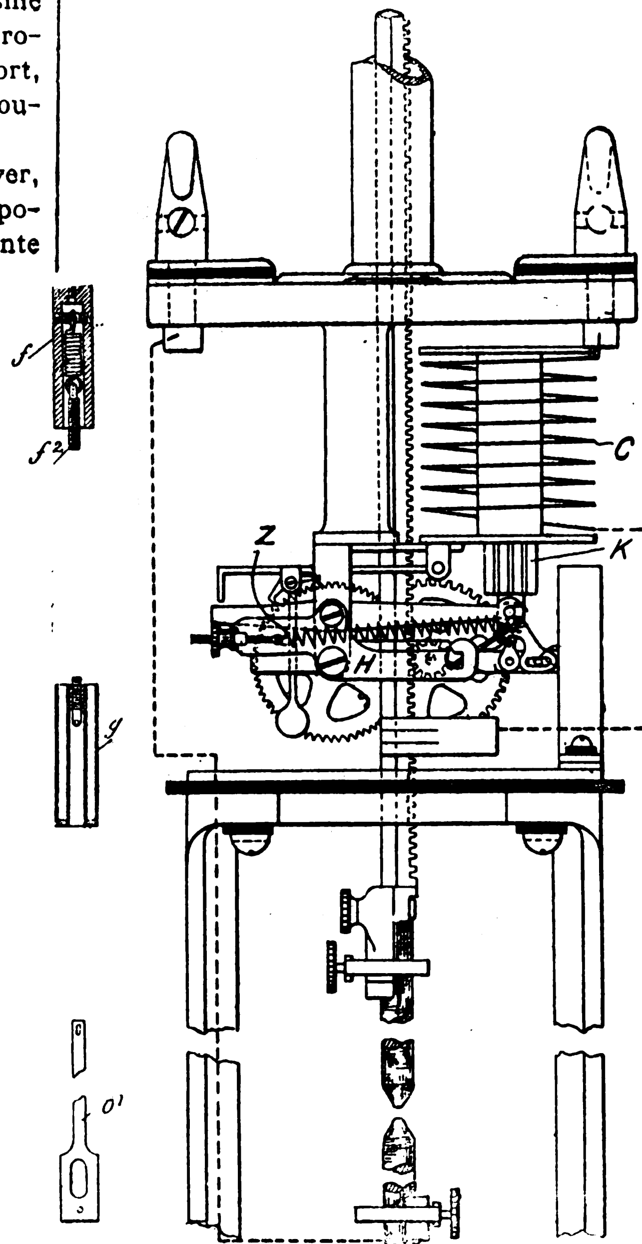


Fig. 34. — Lampe *Harthan* (1895)

tendre, dont la volatilisation rapide rend ce départ plus aisé, mais on risque ainsi de trop diminuer la résistance de l'arc au départ : le mécanisme de la nouvelle lampe *Harthan* (Thomson Houston) représenté par les figures 34 à 36 a pour objet de permettre un amorçage facile indépendamment, dans une certaine limite, de l'intensité du courant au départ.

La commande des charbons se fait par un châssis V, pivoté en B sur le bâtis fixe B de la lampe, sous l'action du solénoïde C et du ressort *z*, qui attaque V par le doigt F, pivot

en P_2 sur le support $H H_1$, solidaire de B. Quand l'armature K de C est à sa position la plus basse, le ressort z occupe la position indiquée en pointillé sur la figure 35, dans laquelle son moment par rapport à P est à peu près nul ; puis, à mesure que K se lève, en faisant osciller V pour l'amorçage de l'arc, ce moment augmente, de sorte que l'amorçage peut se faire avec un courant d'intensité moindre que l'intensité normale, comme avec le charbon hétérogène, mais exactement déterminé par le réglage du ressort z en a.

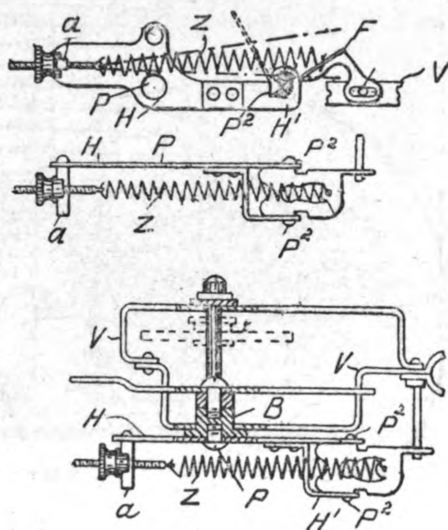
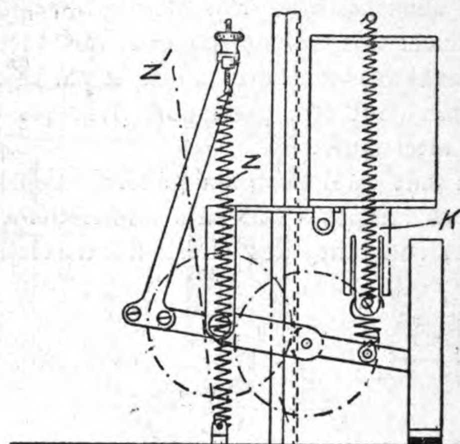
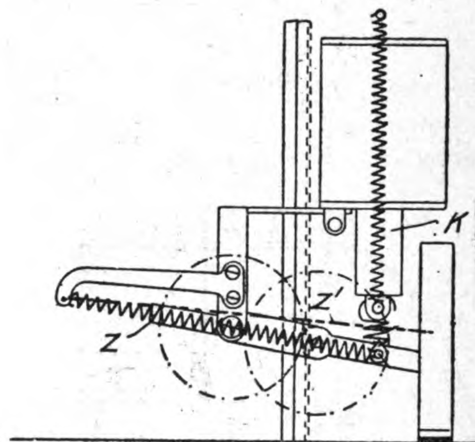


Fig. 35 et 36. — Lampe *Harthan*, détail des compensateurs.

Les figures 37 à 39 indiquent d'autres dispositifs également fort simples, par lesquels le moment de rotation du ressort z augmente à mesure que K soulève son châssis et qu'il s'approche de sa position de moment maximum z_1. En figure 39, les extrémités du ressort z sont attachées, en L et L', à des leviers pivotés en P_5 et P_4, et reliés par un coulisseau en L_2. Lorsque K monte, L et L' s'abaissent, en augmentant le moment de z malgré sa contraction.

La marche de la lampe pour courants alternatifs de M. *W. Mathiesen* est fondée sur la répulsion qu'exercent, sur les extrémités c (fig. 40) du levier d, les électro-aimants a b, montés en dérivation A l'origine, les charbons sont séparés : au départ, la répulsion de b





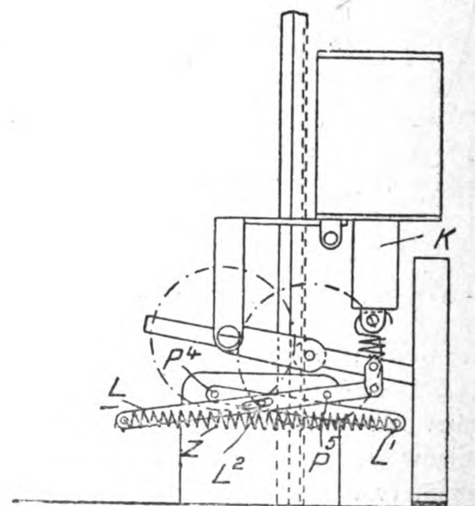


Fig. 37 à 39. — Lampe *Harthan*, variantes.

sur *c*, fait, par *d e f*, pivoter le châssis du mécanisme autour de *i* de manière à déclancher

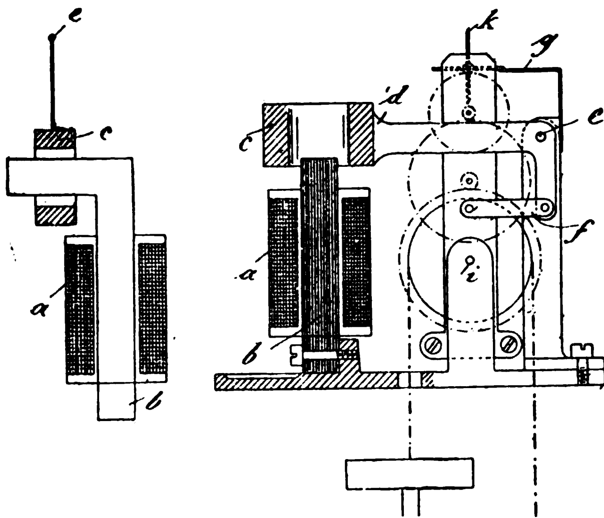


Fig. 40 et 41. — Lampe *Mathiesen* (1895).

de *g* le moulinet *k*, et à permettre ainsi aux charbons de se rapprocher par leur poids.

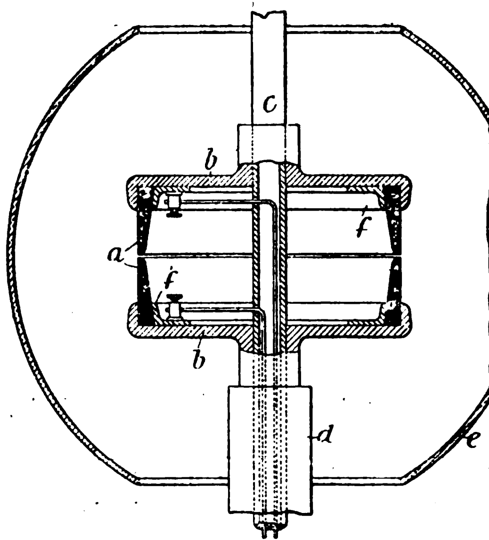


Fig. 42. — Lampe *Rae* (1895).

Une fois au contact, le courant cessant de passer en *a*, *d* retombe, sépare les charbons de manière à amorcer l'arc, et renclanche *kg*, puis la régularisation se poursuit comme dans les lampes ordinaires en dérivation.

Les charbons *a* de la lampe *Rae* sont (fig. 42) circulaires, et montés sur des axes creux *c* et *d*, qui servent au passage des conducteurs et dont l'un, *c*. est animé d'une rotation rapide. Il en résulte que l'arc tourne entre ces charbons avec une grande vitesse, et en sens contraire de la rotation de *c* de manière à donner l'impulsion d'un anneau lumineux continu ; ou a réaliser ainsi une diffusion considérable de la lumière de l'arc.

En figure 43, les deux charbons courbes *a a* tournent, entraînés par leurs guides *g g*, qui n'empêchent pas la régularisation de l'arc par les bras *h h*. Un auvent *j*, percé de trous *k*,

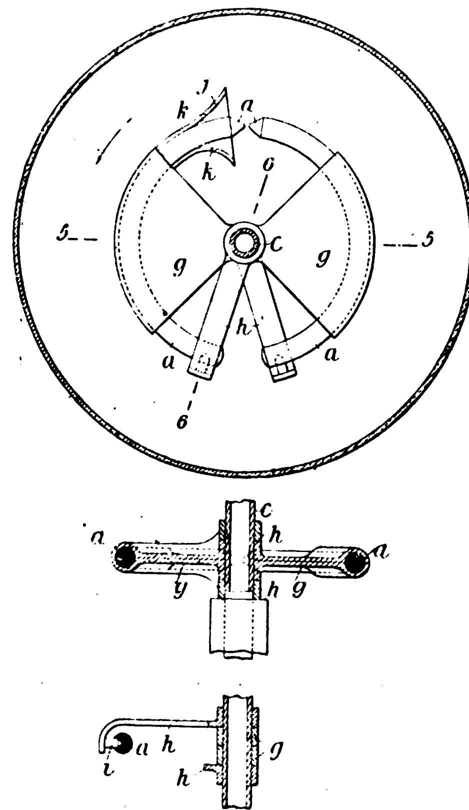


Fig. 43 à 45. — Lampe *Rae* (1895), plan et coupes 5,5 et 6,6.

protège l'arc des remous de l'air occasionnés par sa rotation.

On a remarqué, principalement au passage du canal de Suez, que les projecteurs à faisceau divergent unique sont défectueux pour

l'approche de deux navires venant l'un devant l'autre, parce qu'ils éblouissent parfois les pilotes des deux navires, et l'on a employé parfois, sur chaque navire, deux projecteurs, l'un à faisceau unique, pour les cas usuels, et l'autre à double faisceau illuminant les berges

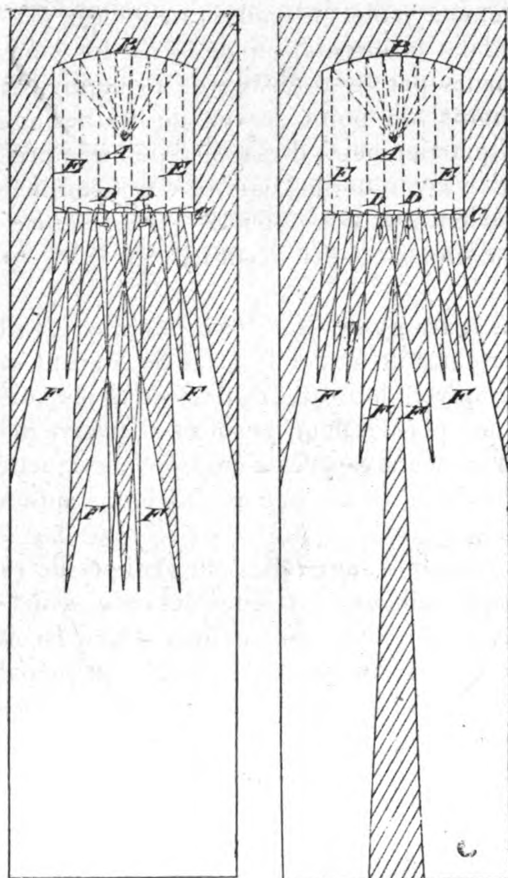


Fig. 46 et 47. — Projecteurs *Paterson* et *Hill* (1895), fonctionnement des lentilles.

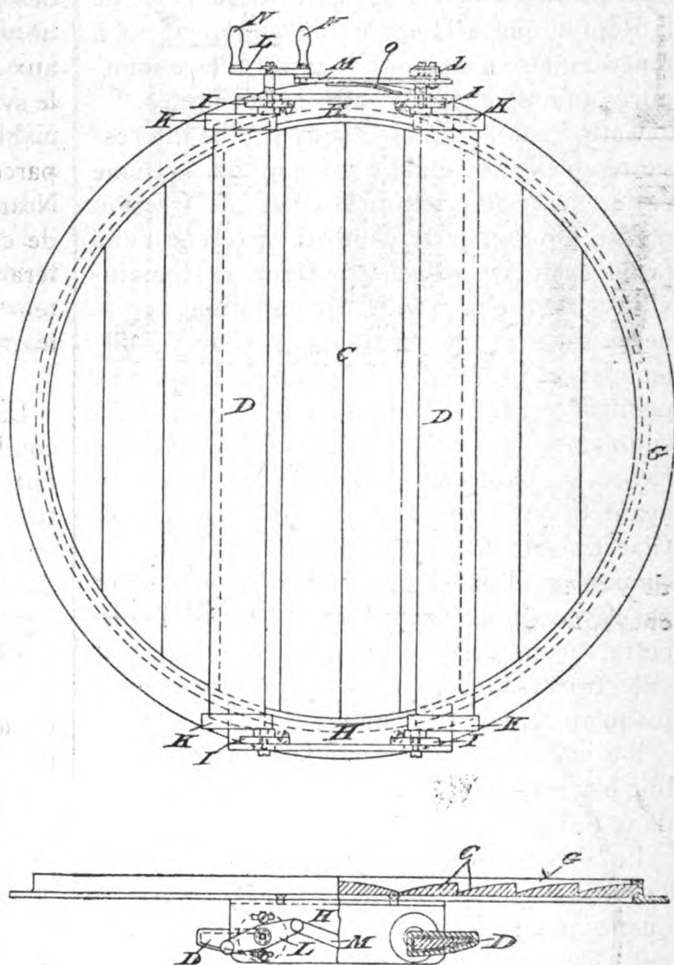


Fig. 48 et 49. — Projecteur *Paterson* et *Hill*.

seulement du canal : la disposition de MM. *Paterson* et *Hill*, représentée par les figures 46 à 49, a pour objet de permettre d'obtenir ces deux effets à volonté par un seul projecteur. Le projecteur est muni de deux systèmes de lentilles. L'un de ces systèmes, *c c*, transforme les rayons émis par l'arc A et collimés par le miroir B en un faisceau divergent F (fig. 46), l'autre système D, quand on le dispose non pas perpendiculairement aux lentilles C, comme en figure 46, mais parallèlement, comme en figures 47 et 49, rectifie cette divergence, et donne un faisceau parallèle. On voit facilement, en figures 48 et 49, comment les lentilles mobiles D D, pivotées en K sur limbe G, sont manœuvrées, de la manette N N, par le renvoi M L I H I.

Gustave Richard.

LE TRAMWAY ÉLECTRIQUE DE LA PLACE DE LA RÉPUBLIQUE A ROMAINVILLE

La traction électrique gagne du terrain dans Paris. Sans parler des nouvelles lignes

du réseau nord que la Compagnie des Tramways de Paris et du Département de la Seine se propose d'actionner à l'électricité, une ligne de tramways électriques allant de la place de la République à Romainville commencera à fonctionner ou sera sur le point d'être inaugurée au moment où paraîtront ces lignes.

Cette installation est d'autant plus intéressante qu'elle est établie suivant un système entièrement différent du procédé de traction par accumulateurs suivi jusqu'à présent d'une façon exclusive à Paris. La ligne de Romainville constitue la première installation permanente du système de tramway Claret-Vuilleumier qui avait déjà fonctionné, il est vrai, pendant 6 mois, à l'Exposition de Lyon, mais simplement à titre d'expérience. Cette expérience, que nous avons décrite en détail [1], ayant donné des résultats satisfaisants, M. Claret a obtenu, par décret du 4 avril 1895, la concession d'une ligne de tramway passant par l'avenue de la République, l'avenue Gambetta, sortant de Paris par la porte de Romainville, traversant les Lilas et pénétrant ensuite jusqu'au centre de Romainville.

Il a été chargé plus tard de l'éclairage public par arcs de la partie de la ligne comprise dans Paris.

La Société du tramway Claret-Vuilleumier s'est mise immédiatement à l'œuvre, aussitôt que les plans de construction ont été approuvés, c'est à dire en septembre 1895 ; les travaux ont été commencés, et continués ensuite activement tant sur la voie qu'à l'usine établie aux Lilas. La canalisation principale était achevée et la plus grande partie de la voie terminée dès le mois de mars. A ce moment, l'aménagement de l'usine était également prêt, car l'éclairage électrique de l'avenue de la République et de l'avenue Gambetta a commencé à fonctionner le 10 mars.

La ligne suit constamment dans Paris des avenues nouvellement percées. Dans ces voies très larges et peu encombrées, l'on n'aurait guère à redouter « l'horrible catastrophe » que nous montrait dernièrement — dans un dessin plus intéressé que spirituel — un journal lyonnais prédisant l'écrabouillement général des passants le jour où « le trôlet, dit le bien nommé, pénétrera à Lyon ». Pour en revenir aux choses sérieuses, nous ne croyons pas que le système à trôlet eût causé une gêne appréciable dans la circulation des grandes voies parcourues par le tramway de Romainville. Néanmoins, au point de vue de l'esthétique de ce quartier neuf, il est certainement préférable d'avoir évité l'emploi d'un conducteur aérien avec ses potences et ses croisements d'un aspect peu décoratif.

Dans le tramway Claret-Vuilleumier le rail conducteur, sur lequel la prise de courant se fait au moyen de frotteurs fixés sous les voitures, est placé à fleur de sol et se trouve divisé en tronçons espacés d'environ la longueur d'une voiture et un peu moins longs qu'un véhicule.

Ces tronçons sont reliés par groupes de 18 à des appareils automatiques dénommés *distributeurs* qui, eux, sont réunis d'une façon permanente à un feeder ou câble principal isolé, posé en terre et relié au pôle positif des dynamos de l'usine. Le retour du courant du pôle négatif de l'électro-moteur aux dynamos de l'usine s'effectue par le châssis de la voiture et les rails ordinaires de la voie, c'est à dire par la terre.

L'appareil distributeur, qui est la partie essentielle du système, présente quelque analogie avec le distributeur du télégraphe Baudot. C'est un appareil qui envoie successivement le courant d'une façon automatique, et d'après la marche même de la voiture, dans les tronçons de rails couverts par le véhicule. On peut circuler sans danger sur la voie, puisque les tronçons de rails ne sont électrisés qu'au moment même du passage de la voiture ; pendant le reste du temps ils sont complètement isolés.

A Lyon, le rail conducteur était formé par une série de bandes ou patins en fer de 4 mètres de longueur, encastrés dans du bitume

[1] Voir l'*Éclairage Électrique*, 4 mai, 8 et 15 juin 1895, p. 211, 448 et 498.

et espacés de 4 mètres. A Paris, ce mode de construction n'a pas été autorisé par la Ville qui a craint le glissement et la chute des chevaux sur les bandes métalliques et n'a toléré que la pose de blocs ou pavés métalliques de même surface que les pavés ordinaires en grès.

Pour se conformer à cette clause, la Compagnie du tramway a installé dans le milieu des rails une série de pavés métalliques. Ces pavés, distants de 2,50 m, sont isolés par du bitume et reliés deux par deux par un conducteur isolé de 8 mm² de section placé à quelques centimètres au-dessous du niveau du sol. Deux pavés consécutifs ne forment ainsi qu'un seul tronçon de rail, mais cette disposition oblige à monter sur les véhicules des frotteurs ayant plus de 2,50 m de longueur. En réalité, ces frotteurs, qui se composent d'une bande de fer fixée sous le châssis de la voiture par l'intermédiaire de ressorts qui l'appliquent constamment sur le sol, ont une longueur de 3,30 m, de façon à ce que la voiture pénètre sur un nouveau tronçon de rail avant d'avoir quitté le précédent.

Les 19 tronçons de rails commandés par un même distributeur sont reliés à cet appareil par des câbles sous ruban de 8 mm² de section, isolés au caoutchouc, qui sont passés dans des tubes transversaux en fonte de 60 mm de diamètre, puis posés longitudinalement dans la même tranchée que le câble principal de distribution. Celui-ci est isolé au jute et recouvert d'une enveloppe protectrice plomb et fer. Le feeder qui va de l'usine des Lilas à la place de la République a une longueur de 5 100 mètres environ et une section de 297 mm² ; celui qui va de l'usine à Romainville n'a que 2 400 mètres de longueur et 225 mm² de section.

Les distributeurs, qui ont la forme d'un tambour de 40 cm de diamètre et 20 cm d'épaisseur, sont logés dans des boîtes circulaires en fonte disposées tous les 95 mètres dans l'alignement de la tranchée des câbles, c'est à dire sur l'un des trottoirs de la rue. Des dispositions spéciales sont prises pour que l'eau ne puisse pas détériorer les organes internes du distributeur et pour que le distributeur puisse être en quelques minutes ôté de sa boîte et remplacé par un appareil neuf de rechange transporté en réserve sur chaque voiture.

La ligne a une longueur de 4 200 m dans Paris et de 3 300 m en dehors de Paris, soit au total 7 km 1/2. Elle est presque partout en rampe dans Paris ; dans la partie de l'avenue de la République qui longe le cimetière du Père-Lachaise la pente atteint 46 mm par mètre. La ligne comprend également de nombreuses courbes, surtout en dehors de Paris ; certaines de ces courbes ont un rayon de 30 mètres. L'usine et le dépôt sont situés dans l'avenue de Paris, aux Lilas, à 900 m environ de la barrière. Les photographies reproduites sur les figures 1 et 2 représentent des vues de l'usine que nous avons prises quelque temps avant la mise en route.

On pénètre dans le dépôt par une allée bordée sur le côté gauche de petits bâtiments établis pour loger provisoirement les différents services administratifs de la Compagnie. Au fond de l'allée se trouvent le dépôt et l'usine, placés côte à côte et occupant un emplacement à peu près égal. Le dépôt est un vaste bâtiment pouvant contenir une cinquantaine de voitures.

L'usine proprement dite se trouve à droite du dépôt. Elle comprend un bassin découvert alimenté par un puits, une salle de chaudières et une salle de machines. Les chaudières comprennent 3 générateurs semi-tubulaires correspondant à 3 moteurs à vapeur de 200 chevaux Généralement on ne met que deux groupes moteurs en marche, le 3e groupe reste au repos comme réserve. La cheminée, de 38 mètres de haut, est placée en avant de la salle de chauffe.

La salle des machines, dont la moitié seulement est occupée actuellement, contient 3 groupes semblables composés d'un moteur horizontal de 200 chevaux commandant par courroie une dynamo de 140 kilowatts.

Les moteurs, fournis par la maison Garnier

sont monocylindriques et marchent avec condensation.

Les dynamos à 4 pôles, représentées sur la figure 1, ont été construites par la maison Hillairet; elles sont hypercompoundées et donnent le courant à la tension de 500 volts.

La figure 2 montre le tableau de distribution fixé dans le fond de la salle. Il ne contient qu'un petit nombre d'appareils, et distribue le courant des dynamos à 500 volts, partie pour l'éclairage public, partie pour la traction.

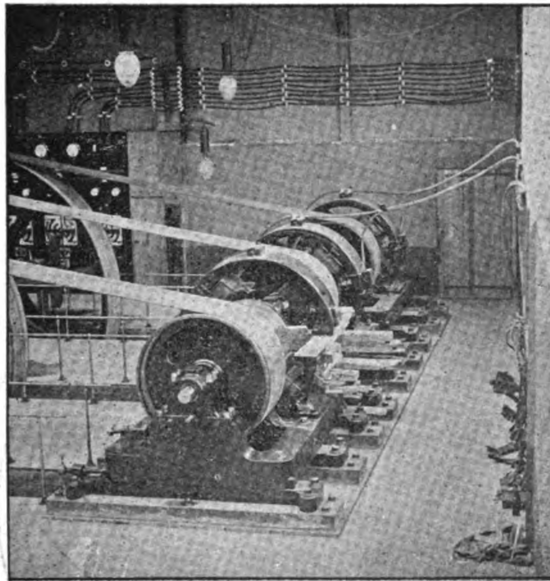


Fig 1. — Dynamos de la station centrale du tramway Claret et Vuilleumier.

L'éclairage de l'avenue de la République et de l'avenue Gambetta forme, avec les quelques lampes servant à l'éclairage de l'usine, un total de 126 régulateurs de 10 ampères, répartis en 14 circuits de 9 arcs en série. Chaque circuit est branché entre les 2 conducteurs positif et négatif d'un câble principal de 120 mm² de section isolé au jute et posé sous l'un des trottoirs dans la même tranchée que les câbles de traction. Les régulateurs sont montés sur des candélabres de forme analogue à ceux des boulevards.

Les voitures, dont ont 8,60 m de longueur; elles sont construites avec une impériale fermée et un petit fourgon à bagages imposé par la Ville; elles peuvent contenir 56 personnes. L'éclairage est fourni à la voiture par le courant à 500 volts pris sur la voie; il comprend 2 circuits de 5 lampes de 16 bougies en série; mais un seul est en service, le second n'étant employé qu'en cas de rupture d'une lampe dans le premier circuit. Sur les 5 lampes en marche, 2 se trouvent dans un globe placé à l'intérieur de la voiture, 2 autres sont montées sur la plateforme d'avant et la dernière éclaire la plateforme d'arrière. Celle-ci est occupée par les voyageurs et le conducteur; la plateforme d'avant est réservée au mécanicien.

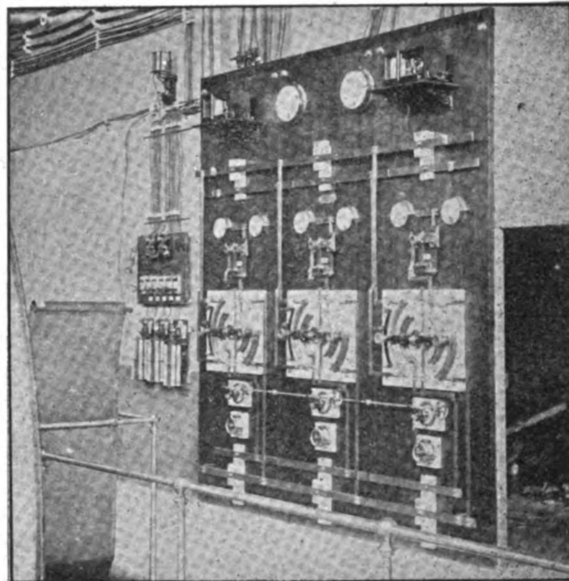


Fig. 2. — Tableau de distribution de la station centrale du tramway Claret et Vuilleumier.

Le mouvement est communiqué à la voiture par 2 moteurs fixés sous le châssis par l'intermédiaire de ressorts et actionnant les 2 essieux par un train d'engrenage réduisant la vitesse à 1/5. Ces 2 moteurs peuvent travailler en série ou en parallèle et on peut intercaler un rhéostat dans leur circuit. Ces diverses opérations, qui permettent de faire varier la vitesse de marche, sont effectuées par un commutateur spécial manœuvré par

le mécanicien. L'arrêt est obtenu régulièrement en agissant sur les moteurs ; le mécanicien et le conducteur ont néanmoins à leur disposition une manette agissant sur un frein à vis.

Au début, 15 voitures automobiles vont être mises en service et seront complétées peu après par 5 autres voitures automobiles en construction en ce moment. De plus, on a déjà commandé un certain nombre de voitures non-motrices qui seront remorquées par les voitures automobiles pendant les heures chargées de la journée.

Les départs auront lieu toutes les 5 minutes environ. Le prix des places sera, dans Paris, de 0,20 fr à l'intérieur et 0,10 fr à l'impériale, avec supplément de 0,05 fr ou 0,10 fr pour chacune des 2 zônes Les Lilas et Romainville.

Telle est, dans ses grands traits, l'installation du tramway de Romainville dont nous ferons connaître les détails un peu plus tard.

Ch. Jacquin.

REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Voltmètre électrostatique Crompton (1895).

Les électrodes circulaires B, au nombre de six, sont reliées en deux groupes : les n° 1, 3 et 5 à l'une des bornes M, et les n° 2, 4 et 6 à l'autre borne, par des plombs fusibles L, L. L'aiguille C porte trois vannes D, D, D ; elle est reliée électriquement aux plaques H et J (fig. 3) presque circulaires, entre lesquelles se meut l'aiguille et reliée ainsi à l'un des groupes des B. Quand on relie les bornes à deux pôles de potentiels différents l'attraction des électrodes B sur sur les vannes D fait pivoter C, malgré le contrepoids de réglage P. Les plaques H et J servent d'écran à l'aiguille C contre les perturbations provenant de l'électrisation de la boite R et du verre Q. En outre, les électrodes B de l'un des groupes sont garnies de pièces d'ébonite R, qui permettent

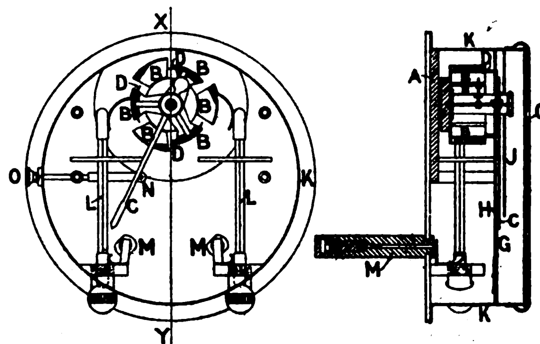


Fig. 1 et 2. — Voltmètre électrostatique Crompton (1895)

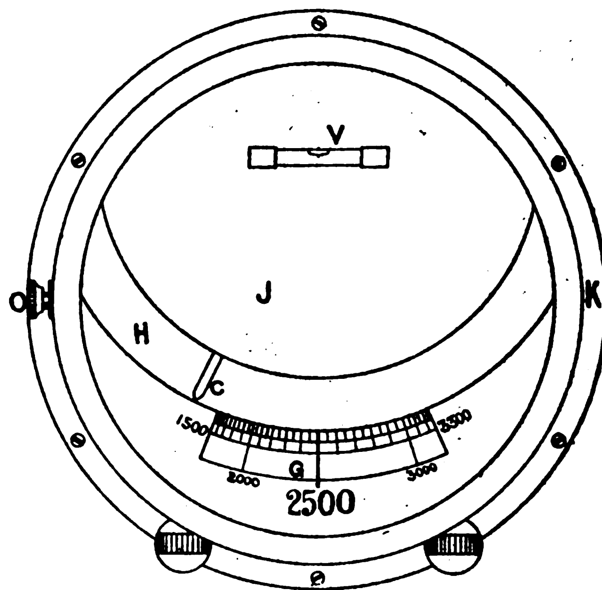


Fig. 3. — Voltmètre électrostatique Crompton (1895)

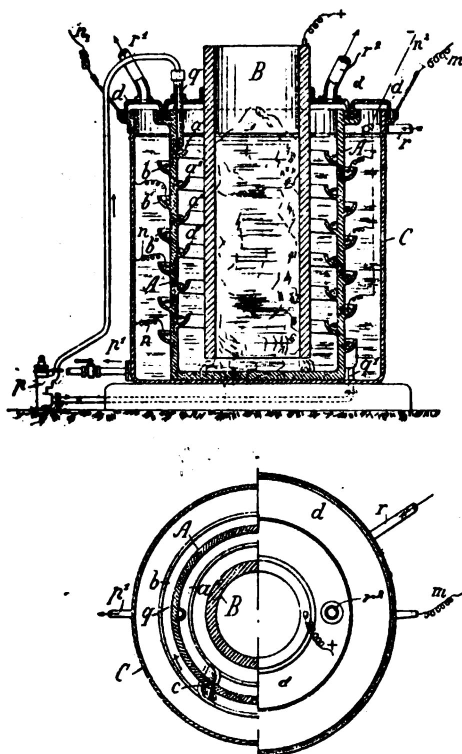
de donner à l'échelle de l'aiguille une graduation convenable. Un galet N, réglable en O, permet de fixer l'aiguille quand on déplace l'appareil.

G. R.

Électrolyseurs à mercure Kellner (1894).

La partie nouvelle de cet appareil est un cylindre en poterie A, pourvu de rigoles inclinées a, a', a''... b, b', b''... communiquant :

les *a* avec les *b* par des orifices *c* (fig. 3) taillés dans A. Le mercure, refoulé par une



ig. 1 et 2. — Électrolyseurs à mercure Kellner (1894)

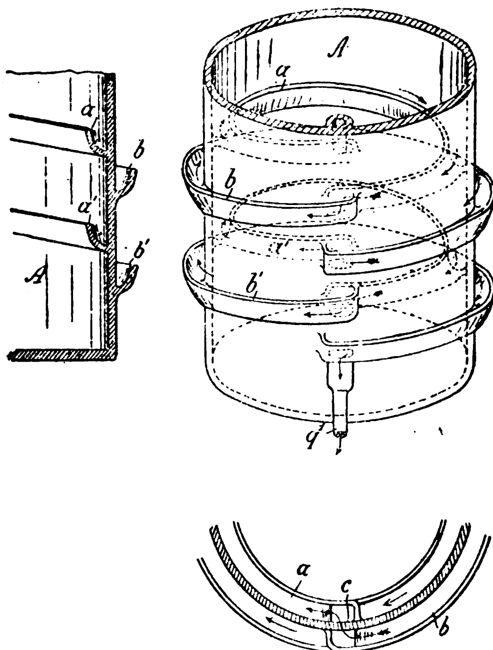


Fig. 3, 4 et 5. — Électrolyseurs à mercure Kellner (1894).

pompe *p* (fig. 1), revient à cette pompe par *q*, après avoir parcouru, suivant l'ordre *a b a' b' a''*..., toutes les rigoles, dont les extérieures *b* sont reliées au pôle négatif. L'anode B, plongée dans A, renferme le sel à électrolyser, dont la dissolution, qui se maintient automatiquement constante, arrive seule au mercure. En C, se trouve l'eau ou le réactif auquel on veut combiner le métal électrolysé. Les gaz s'évacuent par r^1 r^2 et C se renouvelle par *r*.

Si l'on veut utiliser l'électricité engendrée par la combinaison du métal avec C, il faut relier les fils *n* par n_1 au pôle négatif de

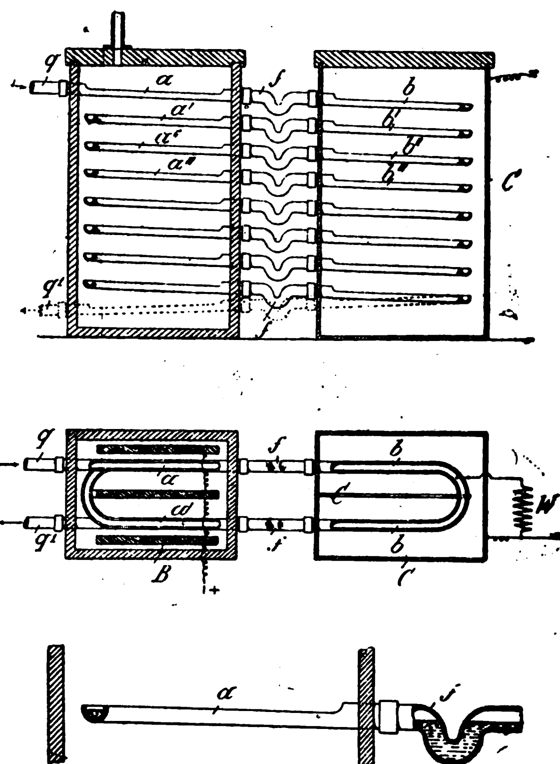


Fig. 6, 7 et 8. — Électrolyseurs à mercure Kellner (1894)

la dynamo. Le mercure des rigoles extérieures *b* forme alors avec C deux éléments d'une pile auxiliaire, dont le courant peut être envoyé par *m* à un autre électrolyseur.

Supposons que l'on veuille électrolyser du chlorure de potassium : on mettra de l'eau en C et du sel marin en B. Le sodium s'amalgamera, dès le passage du courant, au mercure de *a*, puis, cet amalgame, passant en *b*, s'y

décomposera, avec formation d'une dissolution de soude en C et régénération du mercure passant de b en a' pour s'y réamalgamer ; et ainsi de suite pendant tout son parcours.

Dans les grands appareils on préfère (fig. 6, 7 et 8) disposer les rigoles $a\,a'$... $b\,b'$... dans deux bacs différents, en les reliant par des siphons f, de sorte que le mercure amené par q suit un parcours deux fois plus développé, à débit égal, que dans l'appareil précédent. En outre, un rhéostat W permet de régler à volonté la décomposition de l'amalgame.

G. R.

Commutateur inverseur ou clef d'épreuve Tonking (1895).

Quand le bras a_2 est dans sa position médiane (fig. 2) le fil de ligne L est relié, par l_1, l, b, k, k_2, à la borne K, et E à K, par e_1, e, b_1, k_1, k_3 ; L est ainsi complètement séparée des pôles zinc, et charbon C de la pile, ainsi que de E. Si l'on presse le bout M_2 de la clef M_1, L est relié à E par K K_1, M_2 M M_1.

Fig. 1. — Commutateur inverseur ou clef d'épreuve Tonking (1895).

Fig. 2. — Commutateur inverseur ou clef d'épreuve Tonking (1895).

Quand on tourne a sur P P, à gauche (fig. 3) b_1 vient sur c, fermant le circuit de C sur E par b_1, e, pendant que b relie z à L, par $z\ b\ l$. Pour renverser le courant, on amène b sur c et b_1 sur z_1, de manière à relier L à C par $e\ b\ l$ et à z par $z_2\ z_1\ b_1\ e$.

Fig. 3. — Commutateur inverseur ou clef d'épreuve.

Si l'on emploie l'appareil comme commutateur et short-circuiteur de galvanomètre, il faut élargir les extrémités b_{xx} des contacts b et b_1, ou les contacts $z\ k\ c\ k_1\ z_1$, de manière que b_{xx} de b_1 ne quitte pas k_1 avant que b n'ait touché z ni $b\ k$ avant que b_1 n'ait quitté z_1.

G. R.

Microphone Cerpaux et de l'Escaille (1894).

Les crayons en charbon E de ce microphone sont supportés tout à fait indépendamment les uns des autres par des rondelles de graphite F, collées par un plat de leur périphérie au diaphragme du microphone C, et traver-

Fig. 1 et 2. — Microphone Cerpaux et de l'Escaille (1895)

sées par les crayons dont les extrémités appuient sur des gardes de carton fixées aussi au diaphragme ; chaque crayon est en outre pourvu d'un petit manchon en caoutchouc H, qui contribue, avec le mode de suspension susindiquée, à éliminer tout effet de friture.

Le crochet I, à ressort de rappel K, est pourvu d'un contact L, qui, lorsqu'on y suspend le récepteur ferme en M le circuit de la sonnerie tandis que, dès qu'on le décroche, il ferme en N le circuit de la ligne.

G. R.

Commutateur de mise en train Siemens et Lauckert (1895).

L'opérateur comprend (fig. 1), comme élément essentiel deux balais 1 et 2 appuyés sur les barreaux 10 et 13, reliés par une résistance 4. Quand cette paire de balais occupe la position A, le courant à envoyer sur la dynamo 8 passe directement par 9, 6, 1, 10, 8. Quand elle occupe la position B, le courant arrivant en 11 par 9, 7, 7 s'y bifurque en deux parties, l'une par 12, 1, 10 et l'autre par 2, 13 4, 10. En C, avec le balai 2 hors circuit, le courant arrive à 8 après avoir traversé toutes les résistances par 2, 13, 4, 10. On voit que la combinaison de ces deux balais permet de faire, avec un nombre réduit de touches, varier sur une grande échelle les combinaisons des résistances, et il est facile, comme on le voit par les figures 2, 3 et 4 d'augmenter encore le nombre de ces variations en multipliant les balais, en faisant varier l'importance des résistances élémentaires 7, et en divisant les barres 10, 14, 15.

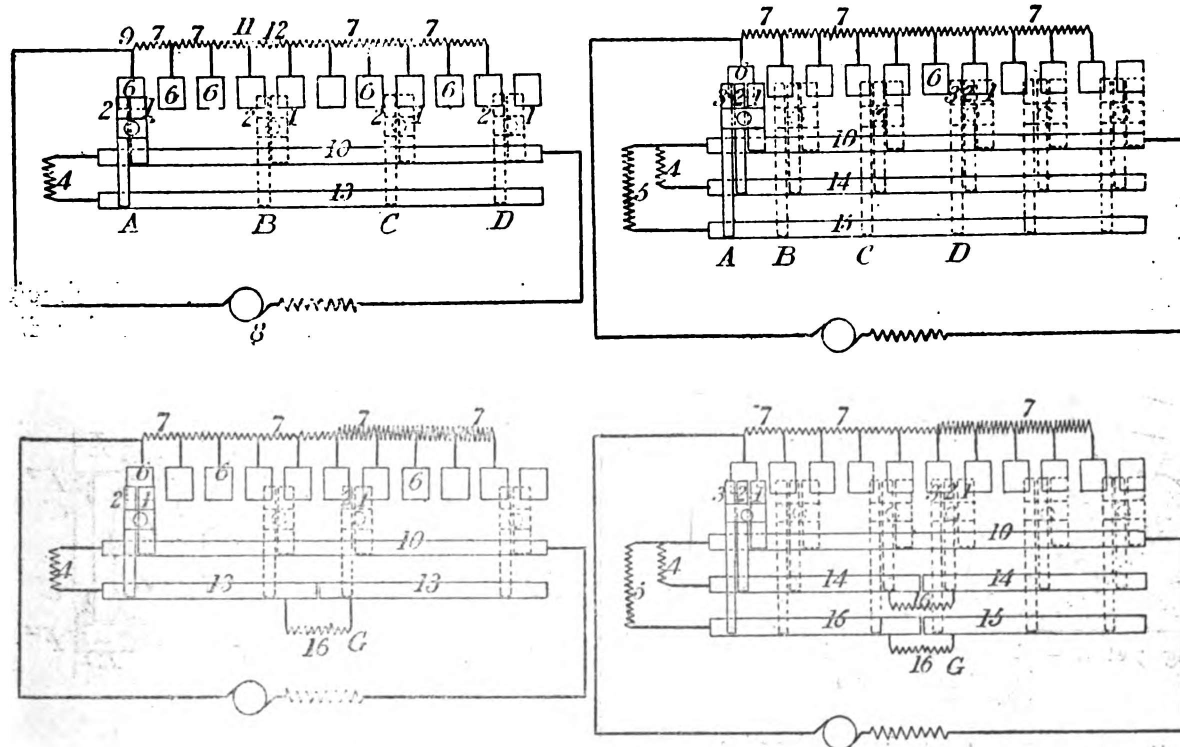
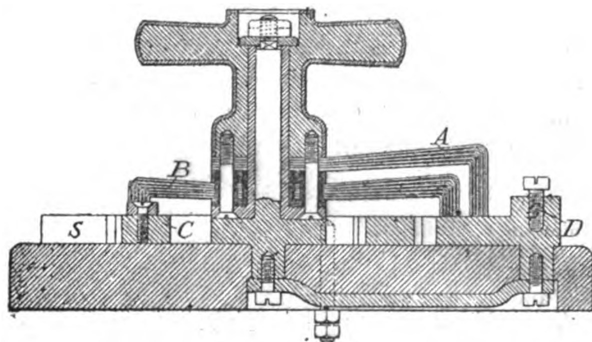


Fig. 1 à 4. — Commutateur de mise en train Siemens et Lauckert (1895).

En exécution (fig. 5 et 6) les touches S sont disposées circulairement, avec résistances intermédiaires T, ainsi que les barres divisées C C_1, à résistances F G H, correspondant à celles 13, 14 du schéma, figure 4. Le balai A est relié à la borne D, et B se déplace sur C C_1 ; l'un de ces segments est relié à A par la résistance E. Dans la position figurée, tou-

tes les résistances T E F G H sont intercalées dans le circuit K, T, B, C C_1, H, G, F, E, D



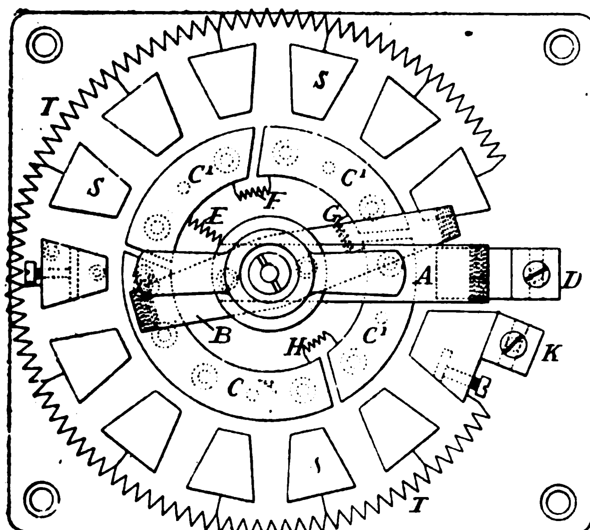


Fig. 5 et 6. — Commutateur de mise en train Siemens et Lauckert (1895).

et l'on peut obtenir ainsi 25 combinaisons au lieu de 12 avec 13 touches S. G. R.

Commutateur Proctor (1895).

Ce commutateur adopté par la Compagnie Edison-Swan se compose d'une base d'ébonite B, sur laquelle est monté le pivot S, que l'on commande par la manette H, dont l'axe *h*, guidé en D, pénètre en S avec un certain jeu qui lui permet un déplacement angulaire par rapport à S. Ce dernier pivot S porte un carrelet pris entre les bras du ressort à pince W, qui tend ainsi constamment à sa position normale ou de circuit fermé, et il entraîne avec lui, par les deux rondelles d'amiante *a*, un disque en porcelaine A, porteur de deux paires de contacts C C, qui viennent, pour fermer le circuit, se prendre entre les touches

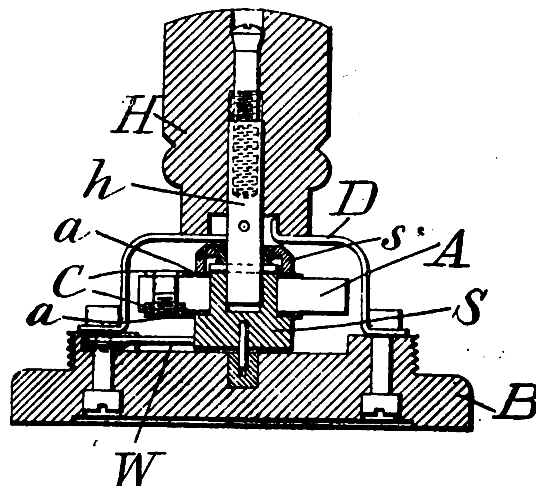


Fig. 1.— Commutateur Proctor (1895)

élastiques E F, $E_1 F_1$. Pour rompre le circuit le mouvement commencé par l'impulsion di-

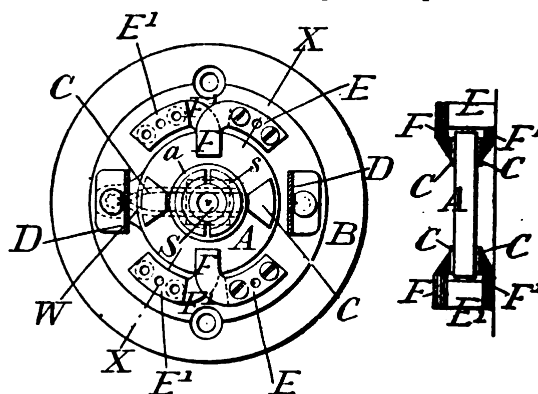


Fig. 2 et 3 — Commutateur Proctor (1895)

recte de la manette H se termine automatiquement par celle du ressort W, de manière à rompre vivement le contact.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Détermination de l'homogénéité magnétique du fer et de l'acier au moyen de la conductibilité électrique, par A. Ebeling (¹).

La recherche des qualités magnétiques du fer par les méthodes magnétiques étant très

(¹) *Zeitschrift fur Instrumentenkunde.*

longue et fort délicate, l'auteur a cherché si la mesure de la conductibilité des diverses portions d'une barre de fer ou d'acier pouvait donner quelque renseignement sur l'homogèneité magnétique de la barre. Dans ce but après avoir fait une épreuve magnétique en différents régions de barres de fer ou d'acier, il mesurait la conductivité de ces régions par la chûte de potentiel entre leurs extrémités lorsqu'un courant traversait les barres. Les résultats obtenus sur une vingtaine d'échantillons montrent que les barres non homogènes au point de vue magnétique le sont également au point de vue électrique. Il y aurait donc là le principe d'une méthode rapide pour s'assurer de l'homogènéité magnétique des barres de fer ou d'acier,

L. D.

Sur l'arc électrique par L. Arons (¹).

On sait depuis longtemps qu'on ne peut entretenir un arc électrique entre deux électrodes que par des différences de potentiel dépassant une certaine valeur. Edlund avait proposé d'expliquer ce fait par l'existence d'une force contre-électromotrice propre à l'arc et analogue à la f. é. m. de polarisation dans un voltamètre. En outre les électrodes de métal donnent beaucoup moins facilement un arc que les électrodes de charbon. Stenger conclut de ses expériences qu'il n'existe pas de force contre-électromotrice.

M. Arons a répété les expériences de Stenger, dont voici en quelques mots la disposition. Il emploie comme source d'électricité la canalisation urbaine (105 à 110 volts). Le circuit renferme l'arc en B, une batterie d'accumulateurs A, une boussole des tangentes P et deux rhéostats H et *h*. Une dérivation dont l'une des extrémités aboutit entre les deux rhéostats H et *h* et l'autre entre la prise de courant et les accumulateurs, peut être établie ou interrompue à l'aide d'une clef de Du Bois. Le rhéostat H est destiné à empêcher le court circuit quand on établit la dérivation, sa résistance doit être de 3 ohms au moins.

Le tableau suivant donne l'intensité du courant dans l'arc, la f. é. m. des accumulateurs et la déviation de la boussole après la fermeture de la dérivation.

TABLEAU I

Intensité du courant dans l'arc.	F é m des accumulateurs.	Dév. de la boussole	
9,1 amp.	0 volts	7 degrés	
9,0	10	7	
11	10	6	
4,4	10	6	
8,6	10	8	
8,1	10	8	
8	10	7	
13	10	7	
10,3	14	6	
5,6	18	8	18 à 22 volts sont nécessaires, pour produire l'impulsion due au courant.
10,7	18	12	
4,9	22	21	
10,5	22	24	
11	24	75	
3,3	26	> 90	
8	26	> 90	l'arc brûle un instant en sens inverse.
9	28	180	
10,5	30	180	l'arc brûle quelques secondes en sens inverse.
9,2	30	180	
8,5	40	180	l'arc s'établit en sens inverse.

Ces expériences ont été effectuées avec des charbons à mèche de 15 mm de diamètre, distants de 1,5 à 2 mm, la résistance *h* était de 0,4 ohm : avec des valeurs plus grandes de *h*, l'arc ne pouvait brûler en sens inverse par une f. é. m. de 30 volts.

Des essais faits pour mesurer la f. é. m. et l'intensité dans l'arc après la fermeture de la clef S n'ont pas donné de résultats très satisfaisants.

Cependant M. Arons a trouvé en contradiction avec Stenger que, avec cinq accumulateurs soit 10 à 11 volts dans le circuit, aucun courant ne passe après l'extinction de l'arc. Le courant apparaît seulement quand le voltage dépasse 18 volts ; il croît ensuite rapidement avec le voltage et quelquefois avec 28 volts, régulièrement avec 30 volts, l'arc s'établit pendant quelques instants en sens inverse. Il

(¹) *Wied, Ann*, t. LVII, p. 185.

semble résulter de ces expériences que dans les premiers moments qui suivent l'extinction de l'arc, l'intervalle entre les charbons n'agit pas comme une simple résistance et que la f. é. m. des accumulateurs est alors augmentée par une force contre-électromotrice existant dans l'arc, laquelle disparaît bientôt. Si on admet cette explication, on déduit des mesures que cette force contre-électromotrice doit être de 10 à 14 volts environ.

Les propriétés des métaux sont à ce point de vue très différentes de celles du charbon.

Avec des électrodes de mercure, il est impossible d'obtenir un courant inverse au moment de la fermeture de la clef, même quand le voltage des accumulateuts atteint 76 volts. Ceci fait prévoir qu'on ne peut alimenter un arc par électrodes de mercure au moyen des courants alternatifs : et c'est ce que prouve l'expérience. Les autres métaux étudiés (fer, platine, aluminium, nickeline, argent, cuivre, laiton) se comportent de la même manière. Les expériences ont été faites aussi en sens inverse des précédentes : c'est à dire qu'après avoir fermé la clef S, on produisait l'arc à l'aide des accumulateurs et on ouvrait ensuite la clef ; la f é m. provenant de la canalisation aurait dû produire l'arc en sens inverse ; mais dans aucun cas, la boussole n'a accusé trace de courant.

On sait d'ailleurs que les courants alternatifs doivent posséder une tension très considérable, supérieure à 2000 volts, pour entretenir un arc entre deux électrodes de métal. Avec un alternateur donnant 240 à 360 volts, M. Arons à pu obtenir seulement des étincelles microscopiques.

Si au contraire on oppose une électrode de charbon à une électrode métallique, on obtient au contraire un arc de plusieurs millimètres de longueur.

Tandis qu'il est très difficile d'entretenir un arc même par un courant continu entre deux pôles d'aluminium, il est facile de l'obtenir avec un courant alternatif entre charbon et aluminium. Il paraît que dans le cas du courant continu, l'extinction de l'arc est causée par la couche d'oxyde qui se forme sur le métal.

D'autre part on sait depuis longtemps que l'intensité du courant passant sous forme d'arc entre deux pôles de matière différente varie avec le sens du courant. Si l'un des pôles est en charbon l'intensité est toujours plus grande, pour une même longueur d'arc, quand le charbon forme la cathode.

Cette différence de propriétés entre le charbon et les métaux peut s'expliquer par trois motifs.

1° Le charbon étant moins bon conducteur de la chaleur que les métaux, conserve une température plus élevée quand le courant s'annule pendant un temps court.

2° Le charbon donne naissance à des gaz qui conservent leur conductibilité plus longtemps que les vapeurs métalliques facilement condensables.

3° Quand l'arc jaillit entre des pôles métalliques, il s'éteint rapidement par suite de l'oxydation : cette oxydation n'a pas lieu avec le charbon dont les oxydes sont gazeux. Le phénomène est très net avec l'aluminium : avec deux électrodes en aluminium la couche d'oxyde interrompt mécaniquement le passage de l'arc : s'il y a une électrode en charbon il se forme une atmosphère réductrice qui empêche l'oxydation.

Recherches sur les constantes diélectriques des mélanges et des solutions, par L. Silberstein [1].

Au cours de recherches sur les diélectriques, l'auteur a été amené à calculer la constante diélectrique d'un mélange de substances n'ayant pas d'action chimique l'une sur l'autre, en fonction des constantes diélectriques des composants, de leurs volumes spécifiques et de leurs proportions dans le mélange.

Pour arriver à la formule qui relie ces différentes grandeurs, il applique les formules générales de la thermodynamique au système suivant.

Un vase parallélipipédique est fermé par

[1] *Wied. Ann.*, t. LVI, p. 661.

deux pistons mobiles T et T′ et séparé en deux parties par une paroi semi perméable. La partie V dont le volume est V renferme m_1 gr de la substance A_1 pure, laquelle exerce sur le piston T une pression p par cm²; la partie V′ de volume V′ renferme un mélange homogène contenant m_1 gr de A_1 pour m_2 gr de A_2; ce mélange exerce sur le piston T′ une pression p' par cm². Les surfaces des deux pistons et la paroi semi perméable B B sont chargées des quantités d'électricité q, q' et φ nécessaires pour produire en chaque point de l'espace $V + V'$ un champ électrique uniforme H. Si l'écartement des deux pistons est très petit relativement à leurs dimensions latérales, les lignes de force qui vont de l'un à l'autre seront parallèles entre elles et leur densité sera uniforme.

Si la température du système est uniforme, le potentiel thermodynamique à pression constante est égal, pour une position déterminée des deux pistons, à :

$$\Phi = U - \theta S + pV + p'V' + E \qquad (1)$$

Dans cette expression, U représente l'énergie interne, θ la température absolue du système, S l'entropie, E l'énergie électrique

$$E = \frac{1}{8\pi}\int K H^2 d\tau, \qquad (2)$$

K étant la constante diélectrique de l'élément de volume $d\tau$.

On suppose que la paroi semi-perméable laisse passer librement la substance A_1, mais arrête complètement la substance A_2. Par suite, la masse de A_2 contenue dans V′ est invariable, tandis que par le jeu des pistons une certaine quantité de A_1 peut passer de V en V′ ou inversement. Dans les conditions imposées au système, à chaque position des pistons correspond un état d'équilibre bien défini. Pour que cet état d'équilibre soit réalisé, il suffit qu'une déformation virtuelle infiniment petite du système n'entraîne pas de variation du potentiel thermodynamique : c'est à dire que

$$\delta \Phi = 0. \qquad (3)$$

On peut prendre par exemple pour cette déformation un déplacement du piston T dans la direction T T; ce déplacement entraîne une variation du volume V égal à δV et fait passer de V dans V′ une quantité δm_1 de la substance A_1. La concentration $c = \frac{m_2}{m_1}$ dans V′ variera de δc et le volume du mélange dans ce même espace V′ variera de $\delta V'$.

Si on pose $F = U - TS$, et si on appelle f_1, f_1' et f_2 respectivement les valeurs de F pour la substance A_1 dans les volumes V et V′, et pour la substance A_2, on aura :

$$\frac{\partial F}{\partial_{\;1}} \delta m_1 = (f_1 - f_1') \delta m_1$$

$$p \delta V + p' \delta V' = - p v_1 \delta m_1 + p' \delta V',$$

v_1 désignant le volume spécifique de A_1 sous la pression p à la température θ.

Soient v_2 le volume spécifique de A_2 et v celui du mélange à la concentration c, il viendra encore :

$$\delta V' = \left[v + (m'_1 + m_2)\frac{\partial v}{\partial c}\frac{\partial c}{\partial m_1}\right] \delta m_1,$$

et puisque $c = \frac{m_2}{m_1'}$

$$\delta V' = \left[v - c(1 + c)\frac{\partial v}{\partial c}\right] \delta m_1.$$

Par conséquent

$$p \delta V + p' \delta V' = \left\{ - p v + p' \left[v - c(1 + c)\frac{\partial v}{\partial c}\right]\right\} \delta m_1.$$

Reste à calculer la variation de E. Or d'après la relation (2)

$$E = \frac{1}{8\pi} H^2 \left[m_1 v_1 k_1 + (m'_1 + m_2) v k\right].$$

Il faut remarquer que la constante diélectrique du mélange, k, est une fonction de la concentration c. On trouve alors

$$\frac{\partial m_1}{\partial E} \delta m_1 = \frac{1}{8\pi} H^2 \left\{ - v_1 k_1 + k \left[v = c(1 + c)\frac{\partial c}{\partial v}\right] - \frac{\partial k}{\partial c} c (1 + c) v \right\} \delta m_1.$$

Finalement

$$(4) \quad \delta \Phi = 0 = \left\{ f'_1 - f_1 + p' \left[v - c(1 + c)\frac{\partial v}{\partial c}\right] - p v_1 + \frac{1}{8\pi} H^2 \right\} k \left[v - c(1 + c)\frac{\partial v}{\partial c}\right] - \frac{\partial k}{\partial c} c (1 + c) v - k_1 v_1.$$

Telle est la condition à laquelle doivent satisfaire p, p', v, k pour que le système soit en équilibre électrique.

Si le même système osmotique est déchargé et maintenu à la même température que précédemment, l'équation (3) donnera encore la condition d'équilibre ; mais la forme de l'équation finale (4) sera changée. Le terme E du potentiel thermodynamique qui représente l'énergie électrique sera nul et restera nul dans la transformation.

On peut négliger les variations des volumes spécifiques v_1, v_2, v qui résultent de la décharge du système, parce que ces variations sont infiniment petites du second ordre : pour le même motif, les variations des pressions p et p' sont négligeables.

Seulement pour maintenir le système à la même température après la décharge, il faut lui fournir une certaine quantité de chaleur Q positive ou négative : il en résulte une variation des grandeurs f_1, f_1' et f_2. Il est clair, d'autre part que φ dépend seulement des dérivées $\frac{dk_1}{d\theta}, \frac{dk}{d\theta}$; mais ces dérivées sont infiniment petites et dans une première approximation, il est permis de négliger φ qui est une fonction linéaire de ces dérivées : cela revient à négliger les variations de f_1, f_1' et f_2. L'expérience justifie d'ailleurs ces approximations.

Quand le système est déchargé, l'équation (4) se réduit par conséquent à la suivante :

$$(5) \qquad 0 = f_1' - f_1 + \left\{ p' \left[v - c(1+c)\frac{\partial v}{\partial c} \right] - p v_1 \right\}.$$

En retranchant membre à membre cette équation de l'équation (4), on trouve ·

$$k\left[v - c(1+c)\frac{\partial v}{\partial c}\right] - \frac{dk}{dc} c(1+c) v = v_1 k_1.$$

Telle est l'équation différentielle à laquelle doit satisfaire k_1 considérée comme une fonction de c.

Dans le cas particulier d'un mélange sans contraction, c'est à dire dont le volume est égal à la somme des volumes des composants à l'état séparé, en appelant σ le rapport v_1 v_2; des volumes spécifiques de A_1 et A_2, l'équation se réduit à

$$k - \frac{dk}{dc}(1+\sigma)c = k_1.$$

En intégrant par la méthode de Lagrange, on trouve :

$$k = \frac{v_1 m_1 k_1 + v_2 m_2 k_2}{v_1 m_1 + v_2 m_2} = \frac{V_1 k_1 + V_2 k_2}{V_1 + V_2},$$

V_1 et V_2 représentant les volumes de chaque composant en bloc.

D'une manière générale, la constante diélectrique d'un mélange homogène k, formé sans contraction par des volumes V_1, V_2 de diélectriques parfaitement isolants, dont les constantes diélectriques sont k_1, k_2 s'obtiendra par la formule

$$k = \frac{\Sigma k_i V_i}{\Sigma V_i}. \qquad (6)$$

M. Silberstein a soumis ce résultat au contrôle de l'expérience. Il s'est servi pour déterminer les constantes diélectriques de la méthode indiquée par M. Nernst.

Il a étudié des mélanges de benzine et d'acétate de phényléthyle, les nombres trouvés par l'expérience et par le calcul sont assez concordants.

Si d'après Maxwell, on pose $k = n^2$, on tire de la relation (6)

$$\frac{n^2 - 1}{d} m = \sum \frac{n^2_i - 1}{d_i} m_i.$$

Or, cette formule n'est pas d'accord avec les faits, même quand on prend pour n l'indice calculé d'après la formule de Cauchy pour les longueurs d'onde infiniment grandes. Cette circonstance répond à ce fait bien connu que la relation $k = n^2$ n'est vérifiée que pour un petit nombre de diélectriques.

L. M.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages reçus

Les rayons X et la photographie à travers les corps opaques, par CH. ED. GUILLAUME, docteur ès sciences, adjoint au Bureau international des poids et mesures. Un vol. in-8 de 130 pages. *Gauthier Villars et fils*, éditeurs. Prix : 3 fr.

Il est bien inutile de faire l'éloge de cet ouvrage, que recommandent suffisamment le nom de l'auteur et l'actualité du sujet. Disons toutefois que dix jours à peine après sa publication, cette première édition était complètement épuisée et qu'une seconde édition sera mise en vente au moment où paraîtront ces lignes. Nous donnerons bientôt l'analyse de cette nouvelle édition.

Lehrbuch der magnetischen und elektrischen Maasseinheiten, Messmethoden und Messapparate, par le Dr Leo Grunmach, professeur à l'Ecole supérieure technique royale de Berlin. Un vol. grand in-8 de 632 pages avec 342 figures et plusieurs tables. *Ferdinand Enke*, éditeur, Stuttgart.

Théorie moléculaire du récepteur Bell, par M. Bech. Un vol. in-8 de 40 pages. *Chéron*, éditeur, 14, rue du faubourg St-Honoré, Paris. Prix : 5 fr.

Les tramways — Voie et matériel, par R. Séguela, ancien élève de l'Ecole Polytechnique. Un vol. petit in-8 (Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoires). *Gauthier Villars et fils*, éditeurs.

Guide annuaire général des industries ; gaz, eaux, électricité, édité par le Journal *Revue Gaz et électricité*, 44, rue de Maubeuge, Paris.

Traité d'électricité industrielle, théorique et pratique, par Marcel Deprez, membre de l'Institut, professeur d'électricité industrielle au Conservatoire national des arts et métiers. Premier fascicule : *Electricité statique et magnétisme, électrométrie, magnétrométrie*. Un vol. grand in-8 de 367 pages. *Edouard Deprez*, éditeur, 17, rue des Bernardins, Paris. Prix : 12 fr.

L'ouvrage complet formera quatre fascicules auxquels on peut souscrire dès maintenant, moyennant 40 fr, payables 10 fr à la publication de chaque fascicule.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Paris. — *Traction.* — Il semble que la traction électrique doive bientôt prendre une extension considérable dans Paris. Après l'inauguration du tramway système Claret-Vuilleumier de la place de la République à Romainville et aux Lilas qui doit avoir lieu dans les premiers jours de mai, nous assisterons à la substitution de la traction par accumulateurs à la traction animale sur les lignes de la place de la République à Pantin et à Aubervillers et sur différentes lignes de la place de la Madeleine à la banlieue de l'Ouest.

Les membres du Conseil général paraissent d'ailleurs très disposés à favoriser le développement de la traction mécanique. A la dernière session, M. Gibert présentait, au nom de la commission mixte des omnibus et tramways, un rapport dont nous extrayons le passage suivant :

Le Conseil général, à bon droit préoccupé de l'amélioration et de l'augmentation des moyens de transport dans Paris et dans le département, autant dans l'intérêt permanent du public qu'en vue de l'Exposition de 1900, a plusieurs fois manifesté son vif désir de voir transformer en traction mécanique la traction animale encore en usage sur nos lignes de tramways.

Pour hâter la solution de la question, votre commission mixte vous propose d'adopter le projet de délibération suivant :

Le Conseil général invite l'Administration :

1° A faire, le cas échéant, une enquête sur le principe de la substitution de la traction mécanique à la traction animale, dans le réseau complet de nos lignes de tramways ;

2° A examiner les propositions des Compagnies en vue de cette transformation et à faire un rapport sur ces propositions, afin de permettre au Conseil général, dans sa prochaine session, de se prononcer en toute connaissance de cause sur une question aussi importante.

De leur côté les demandeurs de concessions ne restent pas inactifs et tout récemment MM. E. Cauderay et G. Renard présentaient une demande de concession pour l'établissement d'un vaste réseau de tramways électriques mettant le centre de Paris en communication rapide avec la banlieue Ce projet, sur lequel nous reviendrons bientôt avec plus de détails, comprend 12 lignes ; dans l'intérieur de Paris le courant sera fourni par des accumulateurs ; à l'extérieur il sera amené aux voitures par ligne aérienne et trôlet ; dans ce dernier cas une partie du courant servira à la charge des accumulateurs pendant la marche des voitures. Le prix sera de 10 centimes seulement à l'intérieur de Paris ; à l'extérieur il sera tout aussi réduit. A l'exception de deux ou

trois, tous les conseils municipaux des localités environnantes ont donné un avis favorable à ce projet. Espérons que, dans l'intérêt de tous, il ne tardera pas à entrer dans la période d'exécution.

Amplepins (Rhône). — *Éclairage.* — L'installation de la lumière électrique à Amplepins peut être, dès maintenant, considérée comme terminée Les derniers essais ont parfaitement réussi.

Angers. — *Éclairage.* — La Compagnie du gaz qui avait demandé la concession de l'éclairage électrique de la ville (*Eclairage Électrique*, 15 décembre 1894, T. 1, p. 691) a enfin reçu une décision favorable. On a déjà commencé à poser les pylones destinés à supporter les fils. Ces travaux sont poussés activement.

Besançon. — *Traction.* — Nous avons déjà donné (*Éclairage Électrique*, 19 octobre 1895, T. V, p. 137) des détails sur l'importante installation d'un réseau de traction électrique qui contera une centaine de kilomètres de longueur. Nous apprenons qu'une modification vient d'être apportée dans le tracé.

La ligne partant de Besançon s'arrêtera à Amathay-Vesigneux pour être plus tard prolongée sur Pontarlier par Goux-les-Usiers.

Le conseil général va être appelé à statuer sur le chiffre de la subvention dont le principe a déjà été voté à la dernière session.

Bordeaux-Carmasac. — *Traction.* — L'établissement d'un tramway entre Bordeaux et Carmarsac a été déclaré d'utilité publique par un décret du 27 mars 1896, inséré au *Journal Officiel* du 1er courant (page 1812), en même temps que le traité de rétrocession passé avec la Société générale des chemins de fer économiques et le cahier des charges réglant les conditions de construction et d'entretien de la ligne.

L'article premier du décret prévoit pour l'accomplissement des expropriations un délai de trois ans, qu'il ne faut pas confondre avec le délai fixé pour l'exécution des travaux.

En vue d'éviter toute méprise, toute confusion à cet égard, il semble utile de donner le texte de l'article 3 du cahier des charges, ainsi conçu :

Délais d'exécution

« Art. 3. — Les projets d'exécution seront pré-
« sentés dans un délai de six mois à partir de la
« date du décret déclaratif d'utilité publique.

« Les travaux devront être commencés dans un
« délai d'un an à partir de la même date. Ils se-
« ront poursuivis et terminés de telle façon que la
« ligne entière soit livrée à l'exploitation dans un
« délai de deux ans, à partir de la date du décret
« déclaratif d'utilité publique. »

Bordeaux-Pessac. — *Traction.* — L'inauguration du tramway électrique de Bordeaux à Pessac est définitivement fixée aux premiers jours de mai. La ligne est, du reste, absolument terminée, et la question de l'eau destinée à alimenter les générateurs avait seule retardé la mise en service du tramway.

La Compagnie concessionnaire espérait trouver l'eau sur l'emplacement même de l'usine, située à sept cents mètres environ du boulevard, à l'angle du chemin Redeuilh, près de la Médoquine ; mais les sondages opérés jusqu'à ce jour n'ont pas donné ce qu'on attendait. Un premier puits artésien, foré jusqu'à cent cinquante mètres de profondeur, n'a pu trouver la nappe que l'on espérait rencontrer. Deux autres puits n'ont pas amené de résultats plus heureux.

Dans ces conditions, la Compagnie s'est adressée à M. le Maire de Bordeaux pour lui demander de vouloir bien, exceptionnellement, accorder une concession d'eau. L'usine n'est pas, en effet, sur le territoire de la commune de Bordeaux et la concession en question, qui exigera une canalisation très étendue, constitue une véritable faveur, en dehors des règlements de la Ville.

Nous croyons savoir que les commissions du Conseil municipal, dans une séance tenue hier soir à l'Hôtel-de-Ville, ont, sur la proposition de l'administration, donné un avis favorable à la prise en considération de la demande de la Compagnie du tramway de Pessac, demande qui sera certainement accueillie par le Conseil dans sa prochaine séance.

Dieppe. — *Éclairage.* — A plusieurs reprises, (*Éclairage Électrique*, 7 avril 1895, T. III, p. 94) nous avons entretenu nos lecteurs sur l'éclairage électrique de la plage de Dieppe. C'est la semaine prochaine que le Conseil, qui se réunira vraisemblablement pour la dernière fois avant le renouvellement du 3 mai, sera appelé à se prononcer sur la proposition de cette société. Pour mémoire nous rappellerons qu'il s'agit d'une demande d'autorisation de passage sur la voie publique, soit par canalisation souterraine soit au moyen de pylones destinés à soutenir les câbles conducteurs.

Douai. — *Éclairage*. — Nous avons parlé dans notre numéro du 17 août 1895, t. IV, p. 334, de l'éclairage de la ville de Douai. Nous apprenons qu'en renouvelant son traité avec la Compagnie du gaz, cette ville a prescrit à ladite Compagnie d'avoir à organiser l'éclairage électrique sur un parcours déterminé, dès qu'elle se serait assuré une clientèle utilisant 500 lampes consommant chacune au moins 48 kw par an. Le prix de l'énergie électrique sera de 1,20 fr le kw pour les particuliers ; ces derniers auront le droit d'acheter leurs compteurs, qui seront d'un type adopté par la Compagnie d'accord avec la ville, ou, dès que cela sera possible, du type poinçonné par l'Etat. La pose des compteurs sera faite par les agents de la Compagnie aux frais des particuliers.

Évian-les-Bains (*Haute-Savoie*). — *Éclairage*. — Le Conseil municipal de cette ville vient de recevoir une nouvelle proposition d'éclairage électrique (Voir *Éclairage Électrique*, 26 janvier 1895. t. II, p. 190) présentée par M. Perrin, entrepreneur à Saint-Michel-de-Maurienne. M. Perrin offre à la ville d'installer à ses frais l'éclairage électrique à la condition que la municipalité lui accorde le monopole de l'éclairage pendant 40 ans, et qu'il soit chargé de l'éclairage municipal.

Eymoutiers (*Haute-Vienne*). — *Éclairage*. — La dernière séance du Conseil municipal a fait faire un progrès décisif à la question de l'éclairage électrique. A la suite des démarches faites auprès du directeur général de la Compagnie d'Orléans la concession du terrain nécessaire pour l'utilisation d'une chute d'eau vient d'être faite à la ville.

Le Conseil a décidé que cette installation serait faite par un concessionnaire, qui l'entreprendrait à ses risques et périls. La ville paierait 2 000 fr par an pour 80 lampes de 16 bougies devant éclairer les rues et les bâtiments communaux.

Des pourparlers sont déjà engagés avec plusieurs soumissionnaires afin de commencer les travaux d'installation à bref délai.

Meximieux. — *Éclairage*.— Nous avons dit dans un numéro antérieur (16 mars 1895, t. II, p. 526) que cette petite ville allait être dotée d'une usine destinée à l'éclairage électrique, nous apprenons qu'une réunion préparatoire pour la formation d'une Société d'éclairage électrique à Meximieux, a eu lieu le 20 février, à la mairie. La réunion a été favorable à ce projet.

Narbonne. — *Éclairage*. — Le conseil municipal de cette ville vient d'émettre un vote favorable pour l'éclairage électrique de la ville, et va prochainement procéder à la mise en adjudication des travaux d'installation.

Nontron. — *Éclairage*. — Notre numéro du 19 octobre 1895, t. V p. 138 fait mention d'un projet d'installation d'éclairage qui est aujourd'hui activement poursuivi. Dans sa dernière séance le Conseil municipal a délibéré sur le choix d'un moteur. Emploirait-on un moteur hydraulique ou un moteur à vapeur.

La commission a écarté ce dernier système qui, s'il donne lieu à un capital de premier établissement peu élevé, demande une dépense annuelle très considérable, s'élevant à environ 11 ou 12 000 fr; un moteur hydraulique, au contraire, nécesitera un capital de premier établissement plus considérable, mais la dépense annuelle sera bien moins elevée, et il sera possible de trouver les ressources nécessaires pour y faire face : ce dernier système a donc été adopté.

Les moulins et usines établis aux abords de la ville, ne présentant aucun une chute assez élevée, et d'autre part la quantité d'eau fournie par le Bandiat étant irrégulière, surtout en temps de sècheresse, il a fallu songer à obvier à ces inconvénients ; aussi le projet comporte-t-il l'établissement d'un grand réservoir sur le lit du Bandiat, afin d'obtenir la chute et la quantité d'eau nécessaire au fonctionnement du moteur.

Ce réservoir serait obtenu au moyen d'un barrage en maçonnerie, permettant d'obtenir une chute de 5,10 m, et il serait construit dans des conditions telles que toute crainte de changer soit écartée.

Le projet auquel la Commission a donné la préférence, permettra d'établir une turbine de 40 chevaux pouvant actionner une ou deux dynamos et d'assurer ainsi l'éclairage public et privé de la ville.

Cet éclairage comporterait pour le service public : 40 lampes de 16 bougies ; 6 lampes de 32 bougies et 70 lampes de 10 bougies à titre de réserve.

Le service particulier comprendrait 400 lampes de 10 bougies ou un nombre équivalent de lampes d'intensité différente.

Nyons (*Drôme*). — *Eclairage et force motrice*. — Le projet dressé par l'ingénieur en chef du dé-

partement de la Drôme en vue de doter la ville de Nyons d'une distribution d'énergie électrique vient d'être approuvé par la commission municipale nommée à cet effet. Ce projet prévoit l'utilisation de la force motrice des eaux du torrent de Léoux au moyen d'une dérivation qui, sous une chute de 330 mètres, donnerait près de 200 chevaux. La mise en exécution de ce projet aurait lieu sous peu et servirait non seulement à l'éclairage, mais aussi à la force motrice.

Périgueux. — Traction. — Nous parlions dans notre numéro du 5 janvier 1895 t. II p. 46, des demandes en concession pour l'entreprise des travaux relatifs aux tramways électriques accordées à la Compagnie Urbaine d'eau et d'électricité; nous apprenons que le projet déposé par cette Compagnie aura à subir quelques modifications par suite de la difficulté qu'il y aurait à obtenir à bref délai l'autorisation de l'État et du département à se servir des voies de tramways départementaux. Néanmoins le réseau modifié présentant un développement assez important desservira, grâce à de nombreux détours, presque tous les points de la ville. L'énergie électrique sera fournie par l'usine de la rue Victor Hugo, qui sera à cet effet considérablement agrandie et pourvue de nouvelles unités. Ces installations seront faites sur les terrains que la Compagnie a achetés derrière son usine actuelle.

Pontarlier.— Éclairage.— La ville de Pontarlier désireuse de posséder l'éclairage électrique vient d'entamer des négociations avec le directeur de l'usine à gaz, sur les conditions dans lesquelles la lumière électrique pourrait être fournie à la ville de Pontarlier. Le conseil municipal, après délibération, a adopté en principe ce mode d'éclairage et a nommé une commission spéciale pour l'étude de cette question.

Royan (Charente-Inférieure). — Éclairage. — Le traité entre la ville de Royan et le concessionnaire M. Covillon étant approuvé par le Préfet tout porte à croire qu'au point où en sont les travaux, la nouvelle station fonctionnera le 1er juillet prochain.

Saint-Astier (Dordogne). — Éclairage. — Une société anonyme d'éclairage électrique vient d'acquérir un moulin à Saint-Astier, ainsi que la chute d'eau, pour y construire une station d'électricité destiné à l'éclairage municipal et celui des particuliers

St-Dié. — Éclairage. — Dans notre numéro du 15 décembre 1894, t. I, p. 672, nous avons parlé d'un concours relatif à l'éclairage électrique. Nous apprenons que dans sa dernière séance, le conseil municipal a adopté les termes du projet de cahier des charges présenté par M. Camille Duceux, relatif à l'éclairage électrique, et chargé l'administration municipale de soumettre ce cahier aux électriciens susceptibles d'entreprendre cet éclairage.

St-Étienne. — Traction. — Par décret du 24 mars 1896, est déclaré d'utilité publique l'établissement dans le canton sud-est et aux abords de la ville de Saint-Étienne, d'un réseau de tramway à traction électrique, destiné au transport des voyageurs et des marchandises, et comprenant les lignes suivantes :

1° Ligne de la place Dorian au Rond-Point;

2° Ligne de Châteaucreux à La Rivière, avec embranchement sur Bellevue ;

3° Ligne de la place Dorian à la Badouillère;

4° Embranchement industriel de Bérard;

5° Embranchement industriel de Villebœuf;

6° Embranchement industriel de la Brasserie nationale.

Saint-Malo. — Éclairage. — Depuis plusieurs années déjà, la question de l'éclairage électrique traînait en longueur en raison d'interminables discussions entre les parties intéressées.

Nous apprenons qu'une décision (un peu tardive, il est vrai) de la Compagnie du Gaz vient de mettre un terme à ces discussions. Une station sera construite dans les environs de la place Chateaubriand ou sur le terre-plein des Ecluses; elle fonctionnera avec des moteurs à gaz et sera inaugurée croyons-nous, dans les premiers jours de juillet prochain.

Saint-Nazaire. — Traction. — Le Conseil municipal de St-Nazaire a adopté, à l'unanimité, le projet de création d'une ligne de tramways électriques entre Saint-Nazaire, Trignac, Villez-Martin, Saint-Marc et Pornichet.

Tours. — Traction. — On nous annonce que des propositions viennent d'être faites à la municipalité par un groupe financier parisien, pour l'établissement de tramways sur rails dans la ville de Tours, concurremment avec ceux existants.

Ce réseau, qui aurait, nous dit-on, neuf kilomètres de parcours en tous sens, serait desservi

par des voitures électriques avec prise de courant souterrain.

Le prix unique, avec correspondance, sur les diverses lignes nouvelles, serait de dix centimes par voyageur.

Les propositions comportent, en outre, que la ville encaisserait 25 pour 100 des recettes au dessus de 20 000 fr par kilomètre, et qu'au bout de 60 ans le réseau appartiendrait à la ville.

Enfin, la nouvelle Société ne demande que huit mois, du jour de l'autorisation, pour commencer l'exploitation.

Nous croyons savoir que la commission de la voirie serait favorable à l'établissement de ces nouveaux tramways, et que la question va venir prochainement au Conseil municipal.

Tulle. — Traction et éclairage. — La ville de Tulle ayant décidé de demander à l'Etat, avec faculté de rétrocession, la concession d'un réseau de tramways électriques, a fait établir les projets d'un cahier des charges de concession et d'un traité de rétrocession. Les Sociétés ou entrepreneurs qui désireraient faire des propositions à la ville devront les adresser à M. le maire de Tulle ou les déposer dans les bureaux de la mairie. Un projet de cahier des charges relatif à la concession d'un service d'éclairage électrique a été également préparé par l'administration municipale de la ville de Tulle ; les intéressés pourront en prendre connaissance au secrétariat de la mairie.

Valence. — Éclairage. — Nous apprenons que les travaux d'installation pour l'éclairage électrique de cette ville sont activement poussés afin que ce nouveau système d'éclairage puisse être mis en pratique au mois de juillet prochain.

Plusieurs communes environnantes vont également imiter Valence et posséderont sous peu, elles aussi, l'éclairage électrique.

DIVERS

Les tramways électriques et les arpenteurs. — *Engineering* rapporte qu'en Amérique, en moins de 4 mois, plus de 40 arpenteurs ont dû faire réparer leurs boussoles qui avaient été désaimantées pendant qu'on les transportait dans des voitures de tramways électriques. La meilleure précaution à prendre serait de ne jamais poser ces appareils sur le plancher de la voiture où ils sont le plus près du champ magnétique puissant engendré par les moteurs.

L'emploi des condensateurs sur les tramways électriques. — *Electric Railway Gazette* propose d'employer les condensateurs pour éviter la destruction rapide des contacts des contrôleurs électriques par les étincelles de rupture. On a employé les extincteurs magnétiques, les contacts à points multiples, les parties mobiles, etc, mais aucune n'a donné complète satisfaction. Un condensateur convenablement branché dans le circuit pourrait donner une solution satisfaisante et économique, car les condensateurs à employer seraient de dimensions relativement restreintes, et ne fonctionneraient qu'à la tension assez faible de 500 volts.

L'instruction de l'électricité dans la flotte. — L'emploi de l'électricité à bord des bâtiments de guerre a pris un développement tel, qu'il est nécessaire d'augmenter dans une large mesure, les connaissances des officiers de la flotte, au point de vue d'une science dont les progrès croissent tous les jours.

Dans cet ordre d'idées, il a fallu après avoir créé un cours spécial d'électricité à l'École des défenses sous-marines, en installer un second à bord du bâtiment-école des canonniers.

Le ministre de la marine compte augmenter le nombre des élèves envoyés à cette école, de manière à parfaire l'instruction électrique de soixante officiers, dans le cours de chaque année.

Tous les officiers de la marine pourront ainsi à tour de rôle, se tenir au courant des progrès de l'application de l'électricité à bord des navires de notre flotte.

La chose leur sera d'autant plus facile qu'ils auront profité des cours d'électricité qui se professent à bord de l'École navale du *Borda*.

Le préfet maritime de Brest vient d'être invité par le ministre de la marine, à recommander au commandant de cette Ecole, de pousser d'une manière toute particulière l'instruction dans ce sens.

La guerre de nuit. — Malgré les avantages que paraît présenter l'éclairage électrique, les 6e et 15e corps d'armée vont être dotés prochainement d'une lampe possédant une puissance d'éclairage considérable produite par le surchauffage et la combustion du pétrole du commerce ; son pouvoir éclairant atteindra, dit-on, 4 000 bougies. L'appareil est construit de manière à pouvoir être porté sur un

sac de soldat. Un réservoir contenant 10 litres de pétrole est joint à chaque lampe.

Des expériences seront faites pendant plusieurs mois par les troupes de la frontière ; un rapport sera adressé au ministre, qui statuera sur l'adoption ou le rejet du nouvel appareil.

Éclairage électrique des trains. — Nous disions dans notre dernier numéro, que les Australiens avaient résolu d'une façon pratique l'éclairage électrique des wagons.

Dans le même ordre d'idées nous apprenons que dix-huit Compagnies anglaises, y compris la Great Northern et le North British, viennent d'adopter un système permettant d'éclairer individuellement chaque wagon, en sorte que, s'il y a séparation des voitures d'un train ou rupture d'attelage, etc., la lumière persiste et l'éclairage reste permanent. C'est sur la London Tilbury and Southern Railway que le système a été expérimenté pendant plusieurs mois.

Chaque véhicule porte, suspendues sous le plancher, une dynamo génératrice du courant électrique et une batterie d'accumulateurs. La dynamo qui n'absorbe qu'un tiers de cheval est actionnée au moyen d'une courroie par l'essieu du wagon. C'est donc la voiture en roulant qui donne la lumière. Les variations de vitesse du train sont compensées sur la dynamo par un dispositif ingénieux, de telle sorte que la machine puisse fonctionner, au même régime, entre une vitesse de 80 kilomètres à l'heure et une vitesse de 20 kilomètres. Aussi le débit de l'électricité reste-t-il sensiblement le même.

Dès que la vitesse descend au dessous de 20 kilomètres à l'heure, un régulateur rompt le circuit de la dynamo et met les lampes en relation avec les accumulateurs. C'est une simple substitution de source électrique. D'ailleurs le garde-frein peut toujours éteindre, quand il y a lieu, avec un commutateur, la moitié ou la totalité des lampes. Quant aux accumulateurs, ils se chargent en route avec une partie du courant de la dynamo.

Cette installation, particulière à chaque wagon, a donné de très bons résultats. La dépense d'installation sur un wagon de cinq à six compartiments s'élève à environ 1 250 fr. Le poids supplémentaire est de 225 kilog, et l'excès de traction emprunté à la locomotive ne dépasse pas un demi-cheval par véhicule. Deux lampes de 8 bougies éclairent les wagons de première et de deuxième classe. Ceux de troisième classe reçoivent des lampes de 5 bougies.

On nous signale, en outre, qu'un ingénieur américain, M. Georges Pyle, vient d'inventer un fanal électrique pour locomotives, qui éclaire, non seulement la voie jusqu'à une distance de 300 mètres, mais projette un rayon vertical très élevé qui permet d'apercevoir le train de très loin, aussi bien dans les courbes que dans les tranchées. Ce fanal électrique est en usage sur la ligne de Vandaka.

Application de l'électricité au timbrage des lettres. — Après avoir employé l'électricité pour cirer leurs bottes, les Américains sont en train d'en tirer parti pour un usage un peu moins commun : le timbrage des lettres. En signalant cette nouvelle application dans le *Journal des Débats*, M. de Parville ajoute les réflexions suivantes :

Le timbrage est excellent et s'effectue avec rapidité. On devrait bien se préocuper, en France, ou de mettre à l'essai ce système ou d'en expérimenter un analogue. Six fois sur dix au moins le timbre de nos lettres est illisible. Le nom de la ville n'est pas marqué; le nom du bureau reste indécis ; le quantième fait défaut ; le numéro de la distribution est ce que l'on voudra. On peut se demander à quoi sert le timbre et pourquoi on timbre. Les lettres qui viennent de l'étranger, Angleterre, Allemagne, Suisse, Italie, etc., portent des timbres nets et bien marqués. Les nôtres, encore une fois, sont généralement d'une impression insuffisante. Quand on a une réclamation à faire près de l'administration, celle-ci ne manque pas de demander la lettre ou le timbre. Car le timbre doit servir, par hypothèse, à guider les recherches et l'enquête. Mais le timbre? Il est muet. Pas d'indications lisibles. Dès lors, l'administration est désarmée et le public perd tous ses droits. Le public est la victime du timbre. Est-ce que l'on ne pourrait pas se préocuper de faire en France aussi bien qu'à l'étranger, et de ne pas suivre pour le timbrage des lettres les mêmes errements que pour les allumettes, les cigares, etc , etc. Certes, l'administration française est la première des administrations... c'est entendu ; est-ce une raison pour que nos lettres soient mal timbrées, pour que nos allumettes ne vaillent rien et coûtent si cher, pour que nos cigarettes ne se fument pas ! Il me semble que ce devrait être tout le contraire. C'est le public qui pense ainsi. Nous, nous restons perplexe,

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. MAUCHAUSSAT, 32, Boulevard de Vaugirard

Tome VII | Samedi 9 Mai 1896 | 3e Année. — N° 19

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

SUR LES MOYENS DE DIMINUER LES FUITES DE COURANT DANS LE SOL DUES AUX TRAMWAYS ÉLECTRIQUES AVEC RETOUR PAR LES RAILS

Nous admettrons que, sauf le point de mise à la terre, les rails sont assez bien isolés par rapport au sol, et que les fuites de courant, assez importantes pour faire craindre des effets d'électrolyse, sont trop faibles pour modifier sensiblement la distribution des courants et du potentiel dans les rails.

Nous supposons d'autre part l'usine génératrice placée à une extrémité de la ligne. Dans le cas où il n'en serait pas ainsi, ce que nous dirons s'applique à une des branches considérée isolément.

I. — DISTRIBUTION A TROIS FILS (fig. 1)

Dans le système ordinaire de distribution (M) les voitures de l'une et l'autre voie sont alimentées par deux fils réunis en dérivation et n'en formant qu'un au point de vue électrique. Le second fil est constitué par l'ensemble des rails réunis électriquement. Les courants de toutes les voitures sont dirigés soit tous vers les rails, soit tous en sens inverse, et le courant résultant dans les rails est la somme arithmétique des courants qui se produiraient si les voitures de l'une ou l'autre voie existaient seules.

Dans la distribution à trois fils (P), les deux fils sont à des potentiels égaux et contraires et sont bien électriquement distincts. Les courants venant des voitures sont dirigés vers le rail pour une voie, pour l'autre voie en sens inverse, et le courant résultant dans l'ensemble des rails est la différence arithmétique des courants qui seraient dus aux voitures de l'une ou l'autre voie.

Une extrémité du rail étant maintenue au potentiel zéro, par une bonne mise à la terre, la valeur du potentiel en chaque point sera, avec l'un ou l'autre système, la somme ou la différence des valeurs dues aux voitures de chacune des voies.

Avec le système à trois fils, la valeur résultante sera d'autant plus voisine de zéro que les trafics sur les deux voies seront plus exactement équivalents, et qu'une même intensité totale débitée par l'usine se partagera entre un plus grand nombre de voitures.

Nous donnons comme exemple, une ligne ayant quatre voitures sur chaque voie, au moment où les voitures d'une voie correspondent au milieu des intervalles des voitures de l'autre voie. Les traits fins, pleins et interrompus, représentent les intensités de courant (C et C') et les variations de potentiels (V et V') dues à l'une et l'autre voie. Si l'extrémité du rail, côté génératrices, est mise à la terre, les lignes indiquent la différence de potentiel des rails avec le sol. On a admis que les courants affluents dus à toutes les voitures étaient tous égaux. Les traits forts indi-

quent soit pour les courants qui suivent les rails, soit pour les potentiels, la somme et la différence des effets dus aux deux groupes de

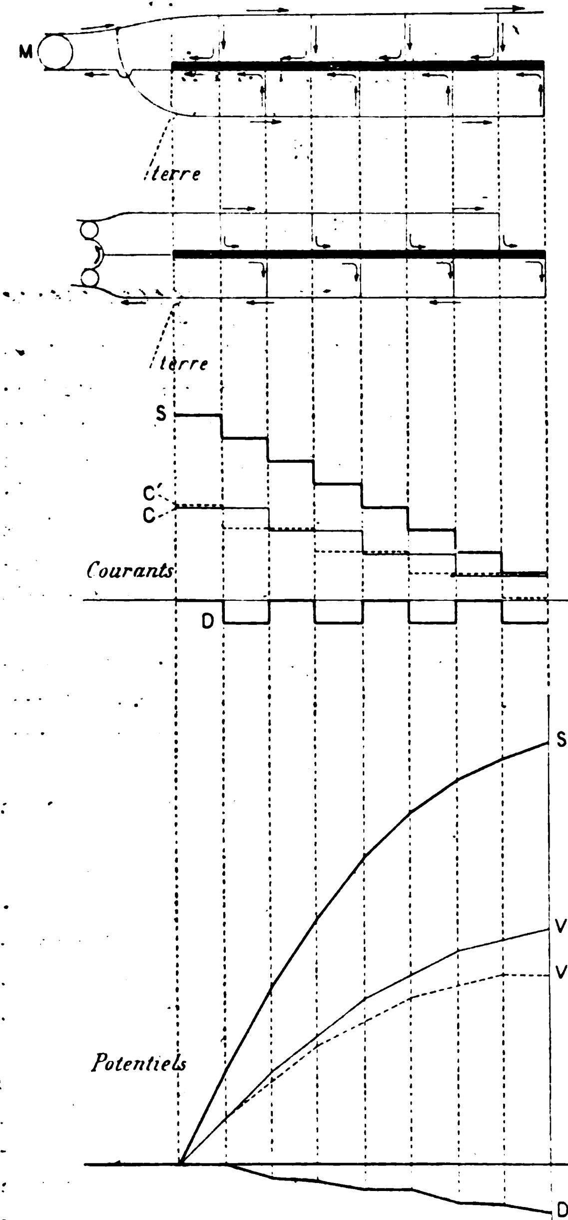


Fig. 1.

voitures, c'est à dire l'effet résultant de la distribution à deux ou trois fils.

Suivant la position des voitures, l'effet résultant dans la distribution à trois fils peut changer de signe fréquemment, ce qui atténue encore les risques d'électrolyse.

Avec de longues déclivités de même sens, le courant des voitures descendantes est plus faible et la compensation devient moins parfaite. Si, pour des déclivités assez fortes, les machines de la voiture descendante fonctionnent comme génératrices et non plus comme motrices, l'effet des deux distributions est renversé ; c'est la distribution dite à deux fils qui donne une compensation entre les deux groupes de voitures, tandis que la distribution à trois fils augmente les effets nuisibles.

A égalité de voltage dans les moteurs, et de poids de cuivre dépensé dans les conducteurs, les deux systèmes donnent sensiblement la même perte d'énergie en route. Le système à trois fils complique un peu la construction de l'usine, puisqu'il exige deux dynamos au minimum au lieu d'une seule. Il exige deux feeders séparés le long de la voie tandis que dans un tramway à fil aérien, les fils des deux voies peuvent être alimentés par le même feeder (de même les deux voies d'un tramway Claret-Vuilleumier sont alimentées par un seul feeder) ; mais cette complication n'est pas plus grande que celle qui est imposée aux Sociétés d'éclairage, transport de force, etc. lorsqu'on leur interdit tout retour de courant par la terre.

II. — SYSTÈME A DEUX FILS (fig. 2)

Nous admettrons que toutes les voitures sont également espacées et envoient dans le rail des courants égaux ; que ces courants, en nombre fini et arrivant dans le rail en des points situés à distance finie, peuvent être remplacés par un afflux uniforme et continu. Admettons en outre que l'afflux de courant par unité de longueur reste constant, ainsi que la résistance des rails, mais qu'on fasse varier le point du rail maintenu au potentiel zéro, ainsi que le nombre et la position des points par où le courant quitte le rail pour retourner à la dynamo. Il est facile de voir, sans figure, que si l'on prend comme abscisses les longueurs comptées sur le rail :

1° L'intensité du courant circulant le long du rail sera représentée par les ordonnées

d'une droite d'inclinaison fixe. Aux points où le courant quitte le rail pour retourner à la dynamo, l'ordonnée éprouvera une discontinuité, mais de part et d'autre de ce point on aura toujours deux tronçons de droite ayant la même inclinaison. Un changement dans la position du point mis au potentiel zéro n'influe pas sur la position de cette droite ou de ces diverses portions de droite.

2° Le potentiel sera représenté par les ordonnées d'arcs appartenant tous à une même parabole à axe vertical. L'ordonnée reste continue ; mais aux points où le courant quitte le rail pour aller à la dynamo, il y a discontinuité dans l'inclinaison de la courbe; on passe d'un arc à un autre de la même parabole. En faisant varier la position du point mis au potentiel zéro, on soulève ou abaisse toute la courbe (formée d'un ou de plusieurs arcs) sans déformation ni déplacement latéral.

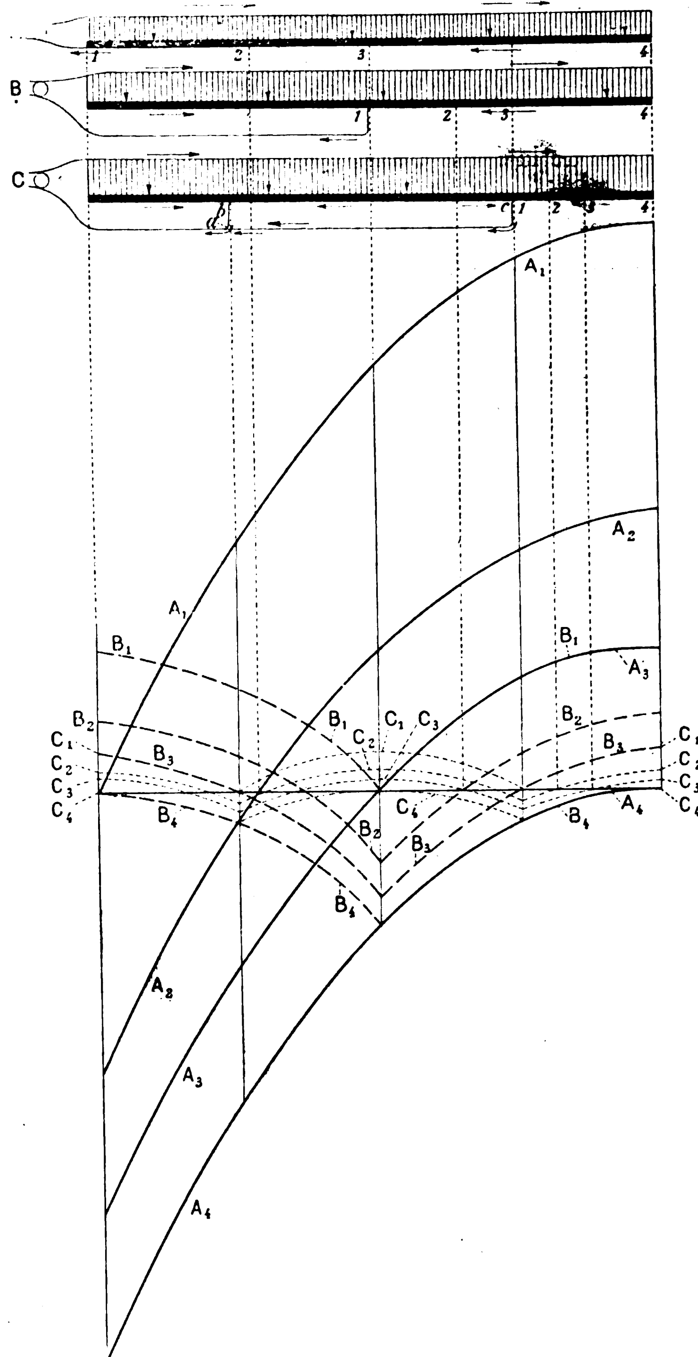


Fig. 2.

Jusqu'à un certain point, les chances d'électrolyse peuvent être considérées comme proportionnelles aux longueurs de voie et aux différences de potentiel avec le sol, c'est à dire à l'aire comprise entre la courbe des potentiels, l'axe horizontal et les deux ordonnées extrêmes. Dans le cas où la courbe coupe l'axe horizontal, on doit additionner les deux parties de la surface sans se préoccuper du signe positif ou négatif de l'ordonnée.

Disposition A : rail réuni à la dynamo par une de ses extrémités. Il n'y a aucune variation brusque d'inclinaison dans la courbe des potentiels, le courant suivant le rail est nul à l'extrémité opposée à la dynamo ; la courbe des potentiels a, en ce point, une tangente horizontale. Suivant que le rail sera mis à la terre au point 1, 2, 3 ou 4, le potentiel sera représenté par la parabole A_1, A_2, A_3 ou A_4.

A_1 disposition habituelle, terre voisine de la dynamo.

A_2 le potentiel varie entre deux limites égales et de signe contraire ; on réduit au minimum la plus grande valeur absolue du potentiel.

A_3 potentiel nul au milieu de la ligne ; on réduit au minimum l'aire définie plus haut.

A_4 terre à l'extrémité opposée à la dynamo.

De ces quatre courbes, la courbe A_1 conforme au mode le plus généralement usité donne les plus mauvais résultats.

Disposition B : rail réuni à la dynamo par un conducteur isolé venant s'insérer à mi-longueur. On verrait facilement que la courbe du potentiel se compose de deux arcs de parabole, symétriques par rapport à la verticale passant par le milieu, avec tangente horizontale aux extrémités. Suivant que le rail serait mis à la terre au point 1, 2, 3 ou 4, on aurait la courbe B_1, B_2, B_3 ou B_4, ces quatre courbes jouissant de propriétés analogues à celles des quatre courbes A_1, A_2, A_3, A_4.

Disposition C : rail réuni à la dynamo par deux points situés au 1/4 et aux 3/4 de la longueur, *les résistances ab et ac étant égales.* On a trois arcs de parabole avec tangente horizontale aux extrémités et au milieu. Suivant que le rail est mis à la terre au point 1, 2, 3 ou 4, on a la courbe C_1, C_2, C_3 ou C_4.

On pourrait varier à l'infini les dispositions adoptées. Dès que le nombre des points de communication de la dynamo avec le rail est égal ou supérieur à 2, il faut donner aux diverses branches des conducteurs des résistances convenablement calculées. Mais la simple inspection de la figure montre comment, sans trop de complication, on peut abaisser dans une très grande proportion les différences de potentiel du rail avec le sol.

La distribution à deux fils ainsi perfectionnée ne complique aucunement la construction de l'usine ; elle exige des conducteurs supplémentaires et par suite une dépense supplémentaire ; cette dépense n'est pas plus grande que pour le tramway avec distribution à trois fils, ou pour toute distribution électrique à laquelle on interdit le retour par la terre.

Dans le cas, le plus général, où le nouveau conducteur a une conductance moindre que les rails, il y a augmentation dans la quantité d'énergie perdue en route quand, toutes choses égales d'ailleurs, on passe du type A au type B ou C. Si, par suite de mauvais joints l'ensemble des rails présente une grande résistance électrique, le contraire peut avoir lieu. En tout cas, en passant du type A au type B ou C, on diminue de moitié ou des trois quarts le courant maximum circulant dans les rails ; on diminue par suite les chances d'échauffement et d'avarie aux joints.

Avantage essentiel : une distribution du type A peut être après coup, transformée en une distribution du type B ou C, lorsque le besoin s'en fait sentir, sans toucher sérieusement aux installations existantes.

Ces dispositions sont signalées simplement à titre d'exemple et pour donner une indication, plutôt qu'une évaluation exacte de la réduction possible des différences de potentiel entre le rail et le sol. On aurait dans chaque cas particulier à rechercher la combinaison la plus favorable.

La présence de déclivités fortes et prolongées n'aurait aucune influence, tant qu'on descend les pentes, sans faire usage du frein, soit que le coefficient d'inclinaison ne dépasse pas le coefficient de traction en palier, soit qu'on fasse fonctionner les moteurs de la voiture comme génératrices. En ce cas, pour une voiture montante et une voiture descendante supposées de même poids, la somme *algébrique* de l'énergie dépensée ou du courant envoyé dans les rails sera la même que pour deux voitures en palier.

Si les diverses parties de la ligne ont des trafics d'intensité notablement différente, s'il y a de longues pentes que l'on descend avec le frein, si le poids des voitures montantes ou descendantes est fort différent, etc., on aurait dans chaque cas particulier à étudier la position la plus favorable pour les points d'at-

tache du conducteur de retour avec les rails, et pour les points de mise à la terre [1].

P. Lauriol.

Ingénieur des Ponts et Chaussées.

LES ÉTALONS DE RÉSISTANCE DE LA REICHSANSTALT

Les étalons de résistance construits par la Reichsanstalt sont destinés en premier lieu à l'ajustement et au contrôle des autres résistances. Dans ce but l'établissement a créé une série d'étalons de 0,0001 ohm à 10 000 ohms avec de nombreux intermédiaires.

En dehors des mesures de contrôle proprement dites, ces résistances peuvent recevoir encore d'autres applications : servir par exemple à former les branches auxiliaires d'un pont de Wheatstone ou à prendre les dérivations dans les appareils de compensation. Pour ces dernières applications, il existe des modèles spéciaux dits boîtes de bifurcation et aussi de fortes résistances pour les dérivations.

Les résistances de 0,1 ohm et au dessus sont formées par des fils ; au dessous de 0,1 ohm, elles sont formées de bandes de métal et aussi de pièces fondues en manganine.

La figure 1 représente une boîte étalon de 1 ohm qui plonge, comme c'est l'ordinaire, dans un bain de pétrole. Elle est suspendue librement dans le bain, à l'aide des tiges latérales, deux fois recourbées à angle droit, qui plongent dans des godets de mercure et servent à amener le courant. Pour permettre au liquide de circuler, des ouvertures sont pratiquées dans le fond, le couvercle et les parois de la boîte. Le fil, généralement en manganine, est replié sur lui-même, puis enroulé en une seule couche sur un cylindre de laiton ayant 4 cm de diamètre.

Dans les boîtes de 0,1 ohm, à côté du fil principal en est enroulé un autre en dérivation dont la section est dix fois moindre que la section du premier et dont la longueur est dix fois plus grande que la sienne. Ce second fil permet d'ajuster plus aisément et plus exactement la résistance. Le fil principal est choisi de manière que sa résistance dépasse de 1 pour 100 environ sa valeur normale, et on rétablit avec précision cette valeur à l'aide de la dérivation. Un changement de longueur d'un mètre sur cette dernière équivaut à un changement d'un millimètre environ sur le fil principal.

Les extrémités du fil sont soudées à l'argent sur les faces des petits prismes en cuivre, sous un angle très obtus. Ces prismes sont pressés ensuite à l'aide d'une vis contre les extrémités des tiges, après que les faces de contact ont été étamées et on les soude pendant qu'on fait serrer la vis. Ce procédé est le seul qui ait donné de bons résultats pour les fils longs de quatre ou cinq mètres et au dessous. Quand on soude directement les extrémités des fils aux tiges, au bout de quelque temps la soudure se fendille autour du fil et la résistance varie de quantités appréciables.

Les points qui déterminent les extrémités effectives de la résistance se trouvent, de chaque côté, sous le fond des godets de mesure dans l'intérieur du cuivre des pièces de jonction. A la résistance du fil de manganine s'ajoutent donc celles des deux tiges de cuivre et du mercure traversé. Cette dernière est rendue extrêmement petite parce que les extrémités aplanies des tiges reposent sur le fond également aplani des godets. Si les surfaces de contact sont bien travaillées et amalgamées, cette résistance de passage a une valeur si faible qu'elle peut être négligée.

La résistance des tiges de contact atteint 70 microhms dans les boîtes de 0,1 ohm, dans les autres 140 microhms; cette valeur est assez petite pour que la présence de ces tiges n'al-

[1] La note qui précède était déjà composée lorsque nous avons eu connaissance d'une communication de M. Kapp (*Éclairage Électrique*, du 4 avril 1896) où se trouvent indiquées une partie des idées que nous venons de développer.

P. L.

tère pas sensiblement le coefficient de température de l'appareil total et pour qu'une différence de quelques degrés entre leur température et celle du bain ne modifie pas d'une manière appréciable la résistance totale.

Les bobines sont d'abord recouvertes d'une étoffe de soie collée à la gomme laque et séchées à 140°. Le fil, sous une double couverture de soie blanche, est enroulé après avoir été replié sur lui-même, est maintenu par des

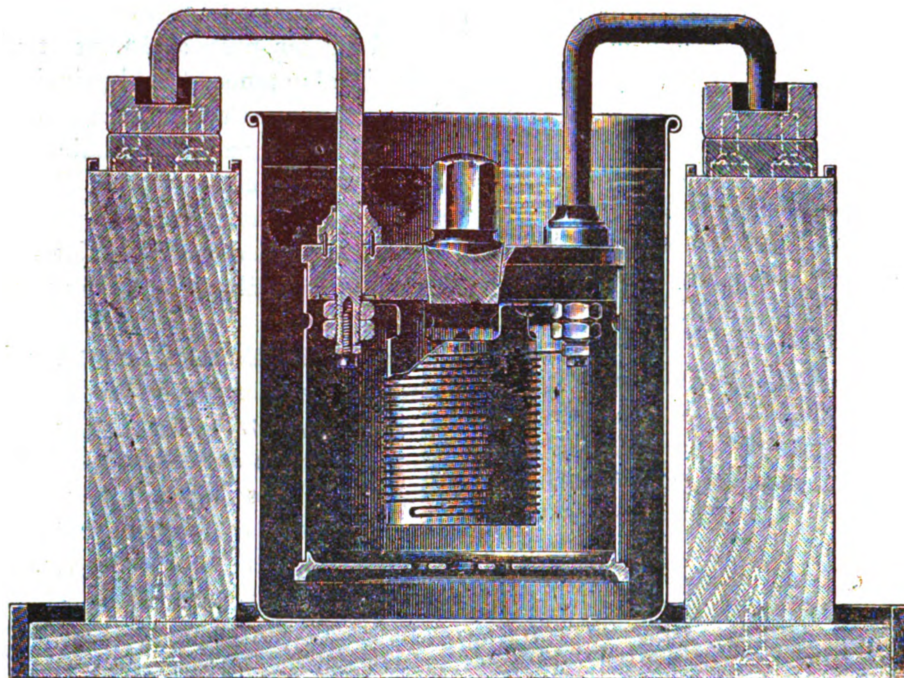


Fig. 1. — Boite étalon de 1 ohm de la Reichsantalt.

fils de soie et enduit plusieurs fois de gomme laque. Les bobines sont ensuite maintenues à 140° dans une étuve pendant 10 heures. Le vernis de gomme laque protège le fil contre l'échauffement et plus tard contre l'action de l'air, tellement qu'il ne se produit aucune oxydation appréciable. En outre, il sert à fixer le fil de manière que celui-ci ne peut en aucune façon se déplacer. Après ce séchage prolongé, la gomme laque reste solide même à température très élevée. L'isolement entre le fil et la bobine atteint d'ordinaire 10^9 ohms; pour atteindre ce résultat, il est indispensable de ne pas toucher avec les mains le guipage pendant l'enroulement, mais de faire passer le fil à travers un chiffon propre.

En chauffant le fil, on fait disparaître aussi la variation de la résistance spécifique avec le temps. Pour la même raison le fil doit être enroulé sur des bobines d'un diamètre assez grand, afin d'éviter une courbure trop prononcée ; il est préférable enfin, pour les faibles résistances, d'employer au lieu d'un gros fil, plusieurs fils plus fins, disposés en dérivation.

On s'est attaché aussi dans la construction de ces appareils, à leur permettre de recevoir sous forme d'énergie électrique une grande quantité de chaleur. Ce résultat est obtenu : 1° en donnant une surface aussi grande que possible à la bobine ; 2° en enroulant le fil sur une seule couche ; 3° en faisant circuler le pétrole autour de la bobine.

Diverses séries d'expériences ont été effectuées pour déterminer l'élévation de température éprouvée par le fil, soumis à différents régimes de courant. La température était mesurée à l'aide d'un couple thermoélectrique

dont une des soudures était placée dans le voisinage immédiat du fil vers le milieu de sa longueur, l'autre plongeant dans un autre bain de pétrole dont la température était déterminée par un thermomètre sensible. On faisait successivement passer dans la résistance des courants correpondant à une dépense de 1, 10, 50 et 100 watts dans cette résistance. Les résultats sont représentés par les courbes de la figure 2 où les ordonnées sont proportionnelles à l'élévation de température du fil et les abscisses au temps.

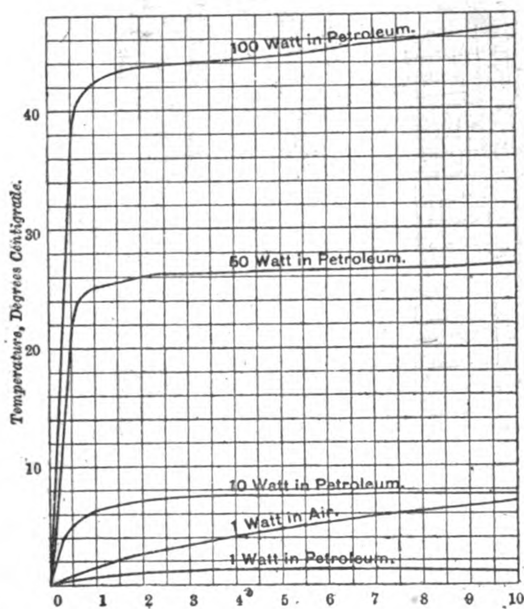


Fig. 2. — Courbes donnant l'élévation de température du fil pour différents régimes de courants.

II. — MÉTHODE DE COMPARAISON DES ÉTALONS

La disposition employée est une modification du pont de Wheastone ou du pont double de Thomson; elle sert à comparer des résistances faites pour avoir la même valeur.

Boîte de bifurcation. — Les figures 3, 4 et 5 représente en coupe verticale et plan une boîte de bifurcation formant deux des branches du pont de Wheastone de résistances égales ; entre les deux est intercalée une petite résistance auxiliaire, servant à l'interpolation, qui pour les mesures de précision est ajustée à un millième près de la valeur commune des branches. Pour tous les cas pratiques, il suffit de deux boîtes différentes, l'une renfermant deux branches de 100 ohms avec une résistance auxiliaire de 0,1 ohm pour comparer avec précision les résistances supérieures à 0,1, ohm l'autre avec des branches de 100 ohms et une résistance auxiliaire de 0,1 ohm pour comparer les résistances inférieures à 0,1 ohm jusqu'à 0,0001 ohm. Un contact glissant g relié au galvanomètre peut être placé soit sur les extrémités, soit sur le milieu de la résistance d'interpolation. En général, on n'arrivera pas par ce procédé, comme avec le pont à fil, à ramener le galvanomètre au zéro : on calcule le rapport des résistances à comparer, par une interpolation, d'après les élongations observées sur le galvanomètre, dans les trois positions possibles du contact.

Les boîtes de bifurcation sont construites sur le même principe que les étalons, relativement aux autres détails.

Les deux fils sont enroulés sur un large tube de laiton m et traités comme le fil des boîtes étalons : en particulier, ils sont chauffés pour leur faire prendre immédiatement un état stable. L'extrémité extérieure de chacun d'eux est soudée en k_1, k_2 avec les tiges de communication b_1, b_2 de la boîte ; les extrémités intérieures sont soudées aux contacts c_1, c_2 traversant le couvercle d'ébonite d. La résistance d'interpolation est intercalée entre c_1 et c_2 : elle est formée d'un fil ou d'une bande de laiton, dont le milieu est soudé au contact c_2. Les trois pièces c_1, c_2, c_3 dépassent la face supérieure du couvercle de 1 cm environ. Sur le milieu de ce couvercle est fixée une tige s longue, dont l'extrémité supérieure porte la borne de serrage k qui doit recevoir le fil allant au galvanomètre. Autour de cette tige est disposé librement un tube r, qui, à la partie inférieure, s'appuie sur le talon f et est soudé latéralement au contact glissant g. A la partie supérieure de ce tube, se trouve un petit disque métallique h enveloppé d'ébonite et sur lequel repose un autre disque formant ressort, comprimé par la vis k : de la flexion de ce ressort, on peut déduire la pression

qu'exerce le contact g sur les surfaces polies des pièces c_1, c_2 ou c_3. En tournant le disque h, on peut amener le contact sur l'une des trois pièces c_1, c_2; c_3, des vis-buttoirs a_1, a_3

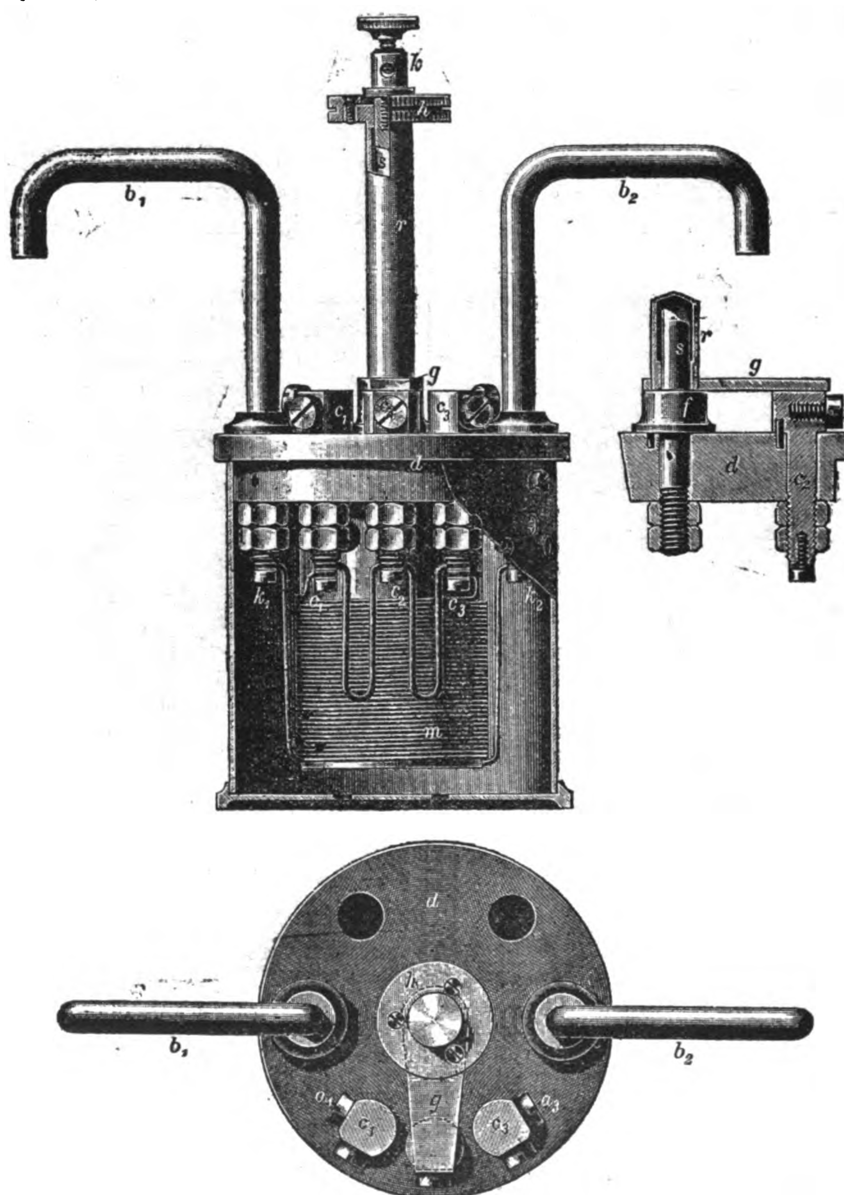


Fig. 3, 4 et 5. — Elévation plan et détail d'une boîte de bifurcation

fixées sur les pièces extrêmes c_1, c_3 empêchent les rotations trop grandes.

La tige s est aussi longue, pour permettre de plonger l'appareil entier dans le bain de pétrole, de manière que les contacts c_1, c_2, c_3 soient eux-mêmes de quelques centimètres au-dessous de la surface libre du liquide.

Pour éliminer l'influence d'une petite inégalité dans les deux branches, on retourne la boîte, c'est à dire qu'on change les deux tiges de communication d'un godet de mercure à l'autre.

Pont double de Thomson. — L'usage de la boîte se comprend de lui-même. Les tiges de communication des résistances-étalons qu'il s'agit de comparer sont plongées directement

dans le même godet de mercure. Des fils de cuivre courts et épais font communiquer ce godet avec ceux de la boîte de bifurcation qui complètent le pont. Les bornes du galvanomètre sont reliées respectivement à la borne *k* et au point de jonction des deux résistances à comparer. Les fils de la pile sont disposés de telle sorte que les résistances des fils épais et

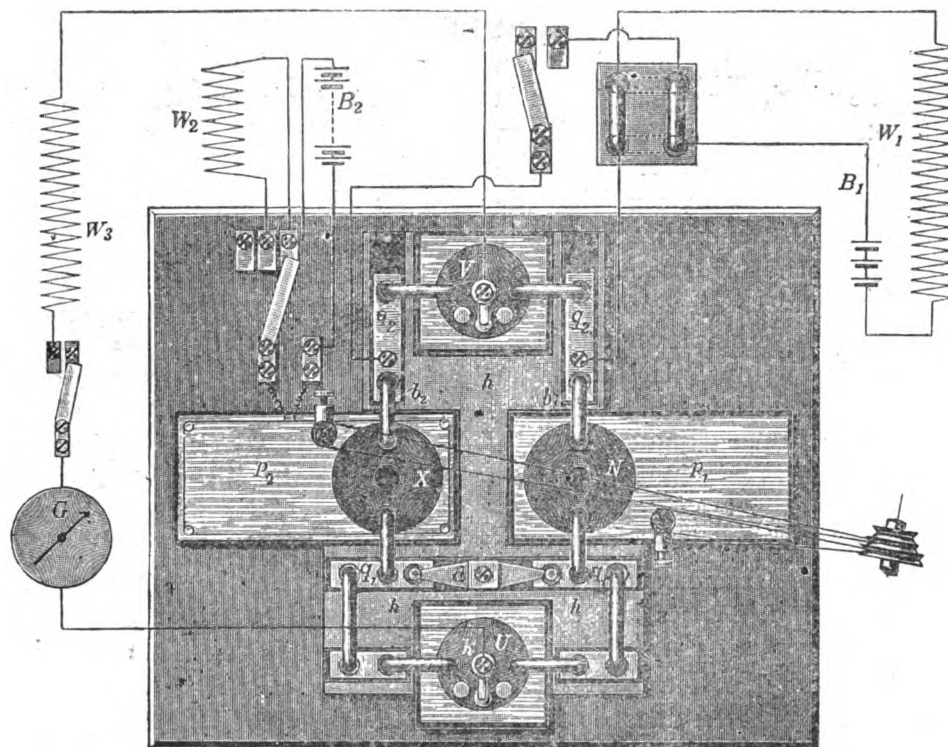


Fig. 6. — Disposition analogue au point double de Thomson pour la comparaison des résistances.

d'ailleurs également longs, s'ajoutent respectivement aux résistances de la boîte de bifurcation et n'entrent pas en compte. même dans les mesures précises.

Comme il a été dit, des vis sont ménagées pour permettre de placer en dérivation sur les branches de la boîte des fortes résistances. Ainsi, en mettant en dérivation sur l'une des branches de 100 ohms, 35 000 ohms, en nombres ronds, le rapport entre les résistances des deux branches supposées partant de c_1 prend la valeur 106,0 : 106,3 ; ceci permet de comparer immédiatement sans donner de trop grandes déviations au galvanomètre une résistance étalonnée en *ohms légaux* avec une autre étalonnée en *ohms internationaux*.

Les dérivations sont disposées de manière à permettre encore d'éliminer par inversion les défauts de symétrie des deux branches.

Lorsqu'on ne peut pas réunir directement les deux résistances à comparer dans le même godet de mercure, on emploie une disposition analogue au pont double de Thomson (fig.6).

La résistance-étalon N et la résistance X à mesurer sont plongées dans des bains de pétrole p_1 et p_2 *séparés*. Dans le bain p_2 se trouve un cadre en laiton perforé qui porte depuis le fond jusqu'à la surface libre du liquide un enroulement de fil isolé. Ce fil sert à échauffer le bain de pétrole, au moyen d'un courant fourni par la batterie d'accumulateurs B_2 pour obtenir une température déterminée, on règle l'intensité de ce courant au moyen du rhéostat W_2.

Si, au contraire, on veut abaisser la température du pétrole, un serpentin plongé dans p_2 et parcouru par un courant d'eau, sert à refroidir le bain. Le pétrole est fortement

agité dans les deux bains par de petites pompes, mues par des électromoteurs qu'alimente la batterie B_2.

Les deux résistances N et X sont reliées d'une part par une large bande de cuivre *d* dont les extrémités amalgamées plongent dans les godets à mercure $q_1 q_1$ et qui, en son milieu, porte une vis de serrage. Comme la résistance de cette bande *d* est très faible, on peut, quand il s'agit de comparer des résistances assez grandes, dans les conditions de température ambiante, relier directement le galvanomètre à la borne *d*. Lorsque les bains p_1 et p_2 ont des températures notablement différentes, il vaut mieux employer une boîte de bifurcation U de 10 ohms, placée dans un bain de pétrole séparé et mise en dérivation sur *d* et relier le fil du galvanomètre à la borne *k* de la boîte U (voir plus haut); on diminue ainsi l'influence des forces thermoélectriques et on élimine complètement la résistance de la jonction, même quand N et X ne sont que 0,001 ohm, d'après la méthode ingénieuse de Thomson.

Les tiges de communication b_1 et b_2 des résistances N et X reposent dans de longs godets à mercure entre lesquels est intercalée une boîte de bifurcation V (boîte de 100 ohms pour la comparaison des résistances de 0,1 ohm et au dessus — boîte de 10 ohms, pour les résistances inférieures à 0,1 ohm), qui est plongée aussi dans un bain de pétrole spécial. La branche de pile, dans le pont, renferme, outre une batterie B de un ou plusieurs accumulateurs, un interrupteur, un commutateur et un rhéostat de réglage W_1 — un semblable rhéostat W_2 est aussi placé sur la branche du galvanomètre.

Tout l'appareil de mesure se trouve ainsi dans le pétrole, dont la température est donnée en p_1 et p_2 et lue sur des thermomètres placés dans les boîtes; les forces thermoélectriques, qui sont d'ailleurs très faibles avec la manganine, sont ainsi complètement évitées.

En fait, on peut, par ce procédé, comparer avec rapidité et précision, des résistances jusqu'à un millionième de leur valeur.

Constance des résistances formées de fils. — On a étudié à ce point de vue 45 étalons qui, vérifiés en 1891 et 1892 par la Reichsanstalt, mis en usage dans divers laboratoires scientifiques ou industriels, ont été éprouvés de nouveau en juin 1894. Ces étalons ont été comparés à d'autres dont la variation avait été déterminée par des comparaisons avec l'étalon de mercure. Sur ce nombre, 42 étaient formés de manganine, 3 de constantan. Dans leur période d'emploi (de 1 an 1/2 à 3 ans) ils avaient varié :

25	de	0,00	à	0,01	pour 100
13		0,01	à	0,02	»
5		0,02	à	0,05	»
2		0,05	à	0,25	»

Il faut remarquer que la plupart avaient eu à supporter des intensités de courant supérieures aux limites qu'on s'impose dans les mesures de précision. Les expériences sur le constantan sont encore peu nombreuses ; mais cet alliage paraît cependant posséder des propriétés avantageuses relativement à la constance et se prête surtout à la fabrication de fortes résistances, pour les usages industriels, qui ne réclament pas la même exactitude que les mesures de précision proprement dites.

M. Lamotte.

MACHINES DYNAMOÉLECTRIQUES A HELICES CONCENTRIQUES (1)

CARACTÉRISTIQUE DE L'INNOVATION

L'induit, au lieu de tourner entre les pôles de l'inducteur, se meut *à l'intérieur* même des hélices inductrices,

Les avantages de ce dispositif sont les suivants :

1°) Il permet de supprimer les armatures de l'inducteur et de l'induit ou simplement l'une des deux ;

2°) Il donne des lignes de force raides et

(1) Voir l'*Éclairage Électrique*, du 25 avril, p. 157.

résistantes à la déformation par suite de leur faible longueur ;

3°) Il diminue considérablement l'hystérésis et les dérivations du magnétisme;

4°) Il permet d'influencer la plus grande partie de fil possible puisque l'hélice inductrice enveloppe complètement l'hélice induite ;

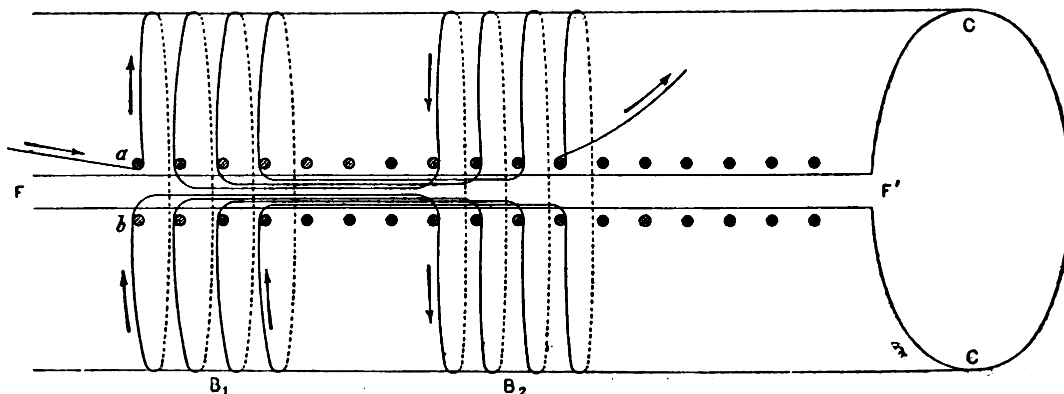


Fig. 1. — FF' fente longitudinale ; C inducteur ; B_1 B_2 bobines inductrices.

5°) Il donne un champ magnétique parfaitement symétrique ce qui n'est pas le cas pour un grand nombre de machines (Edison, etc.).

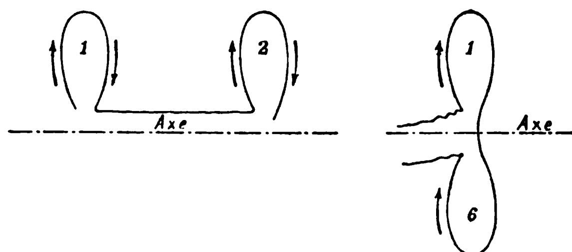


Fig. 2 et 3. — Schéma de l'enroulement.

6°) Il permet d'enrouler sur l'armature la même masse de fil que sur les inducteurs, de sorte que l'utililisation spécifique des fils s'y trouve portée au maximum.

I°) Modèle théorique.

Théoriquement, le dispositif le plus avantageux résiderait dans l'emploi de deux hélices concentriques munies ou non de légères armatures tubulaires. Pour diminuer la résistance magnétique, on rapprocherait autant que possible l'induit de l'inducteur en n'y plaçant que le moins possible de couches superposées de fil. Il conviendrait alors de donner aux anneaux supportant les hélices des dimensions considérables, ce qui augmenterait le rendement pour une même vitesse angulaire.

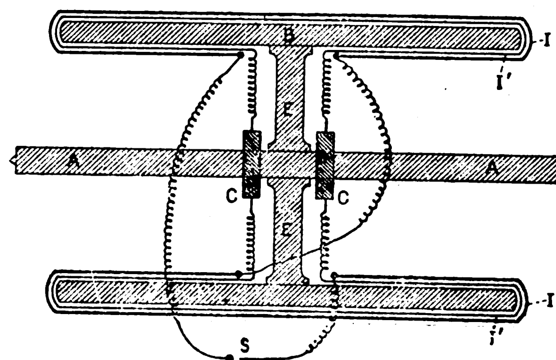


Fig. 4. — Coupe longitudinale.
A axe de l'induit,
B noyau ;
C collecteur ;
I, spire inductrice ;
I', spire induite.

Cette machine se composerait donc schématiquement de deux hélices concentriques — les spires inductrices enveloppant les spires induites — formant un anneau de grand diamètre. Il n'est pas possible de réaliser cette conception théorique ; en effet, l'hélice induite interne ne saurait être immobilisée dans l'espace, tandis que l'hélice inductrice tournerait. Cette dernière entraînerait né-

cessairement la première et la production de courant serait nulle.

Il convient donc de modifier cette conception pour la rendre pratique. Quelques solutions plus ou moins adéquates sont exposées dans les lignes suivantes.

II° Modèles de démonstration.

1° *Machine dynamo électrique à inducteur*

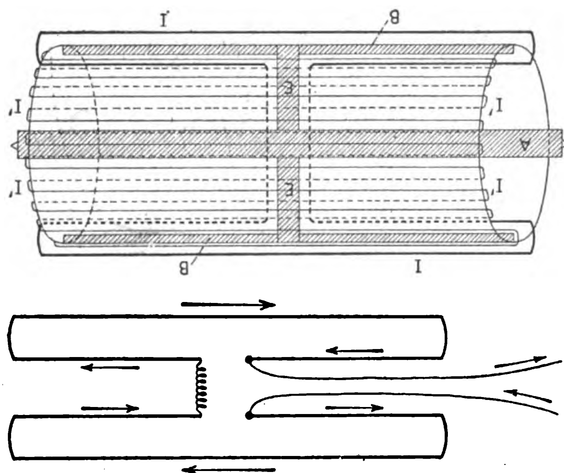


Fig. 5. — A axe de l'induit;
I spires inductrices ;
I spires induites ;
E étoile supportant le noyau D;
B noyau de l'induction.

circulaire. — L'induit de cette machine est analogue à celui des machines Gramme. Quant à l'inducteur, il a la forme circulaire et tubulaire : il enveloppe complètement l'induit qui seul est mobile. Une fente longitudinale est ménagée dans l'anneau inducteur pour le passage des rayons reliant l'induit à l'axe de rotation de la machine. La présence de cette solution de continuité dans l'anneau tubulaire inducteur rend impossible l'emploi du mode ordinaire d'enroulement ; aussi est-il nécessaire d'avoir recours à un bobinage spécial.

Voir les diagrammes ci-joints (fig. 1, 2, 3, 4 et 5).

2°) *Machine dynamo-électrique à inducteur composé.* — La construction de la précédente machine, que l'on serait en droit d'appeler unipolaire par analogie avec celles qui portent ce nom dans l'industrie, ne laisse pas que de présenter d'assez sérieuses difficultés pratique.

On parvient à les surmonter dans une certaine mesure en substituant à l'inducteur unique, un inducteur formé de plusieurs bobines (machines multipolaires). Grâce à cette modification essentielle, l'inducteur pourra être composé d'hélices complètes à enroulement normal; mais il sera nécessaire alors d'employer un dispositif spécial pour transmettre le mouvement à l'induit.

Au nombre de ces dispositifs, on peut citer, comme paraissant assez pratiques,

1°) l'induit à friction;

2°) l'induit à courroie.

A) *Induit mû par friction.* — Les inducteurs sont formés de 2, 3, 4, 6... bobines (selon le modèle) identiques à celles des inducteurs ordinaires. Elles entourent l'anneau induit qui est mû par friction à l'aide de trois ou quatre roues placées à l'intérieur (fig. 6).

B) *Induit mû par courroie.* — L'entraînement de l'induit par friction absorbe une certaine énergie, ce qui diminue le rendement; il semble préférable de mouvoir l'induit d'une autre manière, par sa périphérie par exemple, au moyen d'une courroie qui l'embrasse et passe à l'intérieur des inducteurs. Ce perfectionnement nécessite une transformation importante du précédent modèle. En effet, pour maintenir l'induit dans une position fixe relativement aux inducteurs, il est indispensable de le monter sur billes d'acier ou mieux de bronze. Ces dernières séparent les bobines concentriques et permettent le roulement de l'induit mobile à l'intérieur des inducteurs Les machines fixes seront multipolaires.

On pourrait sans doute établir théoriquement une machine dynamo-électrique unipolaire (à une seule bobine), mais des difficultés de construction et de fonctionnement en rendraient l'emploi peu aisé.

Les diagrammes 7 à 11 représentent divers modèles correspondant aux différentes combinaisons dont il a été question.

Aux trois types de machines qui viennent d'être rapidement décrits se rattachent les

divers modèles représentés schématiquement dans les figures ci jointes. Comme le principe demeure le même, il suffira d'indiquer les modifications essentielles par le type primitif, en insistant sur la caractéristique dans chaque cas spécial.

ENROULEMENT DE L'INDUCTEUR.

Dans les modèles à inducteur circulaire (fig. 1, 4 et 5) l'induit est monté sur un axe central, à la manière des induits Siemens ou Gramme. Quelle que soit sa section (circulaire, rectangulaire, etc.) cet induit est fixé à l'axe par l'intermédiaire d'une seule étoile ou araignée placée au centre. Les rayons qui le rendent solidaire de l'axe de rotation rendent impossible, on le conçoit, l'enroulement normal du fil sur l'inducteur, puisque la surface du tore (ou anneau) constituant ce dernier n'est pas continue. En effet, il est nécessaire de ménager une fente latérale dans la partie interne du cylindre qui porte les spires inductrices. Et cette fente qui laisse passer les rayons de l'étoile ne peut être recouverte de fils. Il s'ensuit que les hélices inductrices doivent forcément être incomplètes.

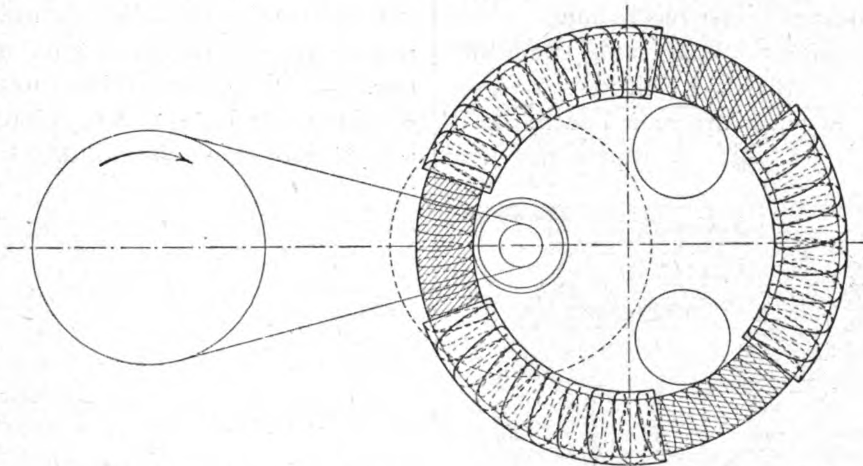


Fig. 6. — Dynamo à friction, dynamo multipolaire, (trois bobines inductrices).

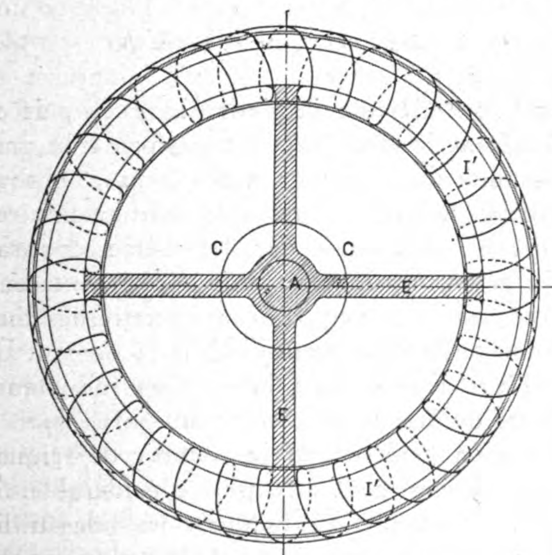


Fig. 7. — Dynamos à billes.

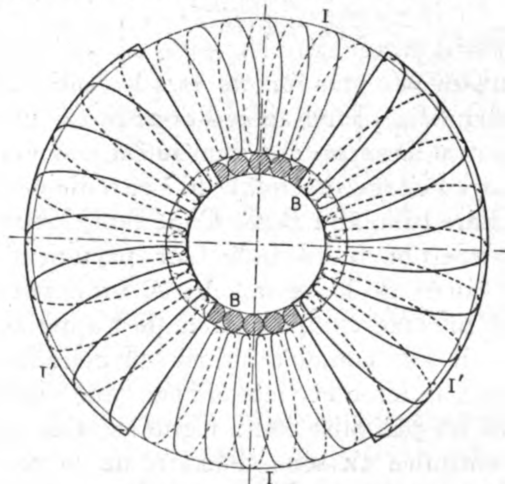


Fig. 8. — Dynamos à billes.

Deux procédés vont être exposés, qui permettent de réaliser un enroulement susceptible de remplacer les spires ordinaires de l'inducteur.

Soit d'abord le cas d'une bobine enroulée sur un tore. — La présence d'une fente latérale dans le cylindre qui constitue le support des fils de l'inducteur rend impossible la formation de spires complètes. Le fil partant d'un des bords de la fente arrive à l'autre bord sans pouvoir le franchir, il ne peut pas non plus revenir par le même chemin, car les deux courants se neutraliseraient (deux courants parallèles et le sens contraire n'exerçant aucune action extérieure), il faut donc avoir recours à un artifice permettant d'utiliser la partie circulaire du circuit.

Pour rendre l'explication plus aisée, supposons que l'on ait affaire à un cylindre droit, (fig. 1) c'est à dire dont la hauteur est perpendiculaire à la base. Il est évident que le mode adopté dans ce cas s'appliquera sans difficulté

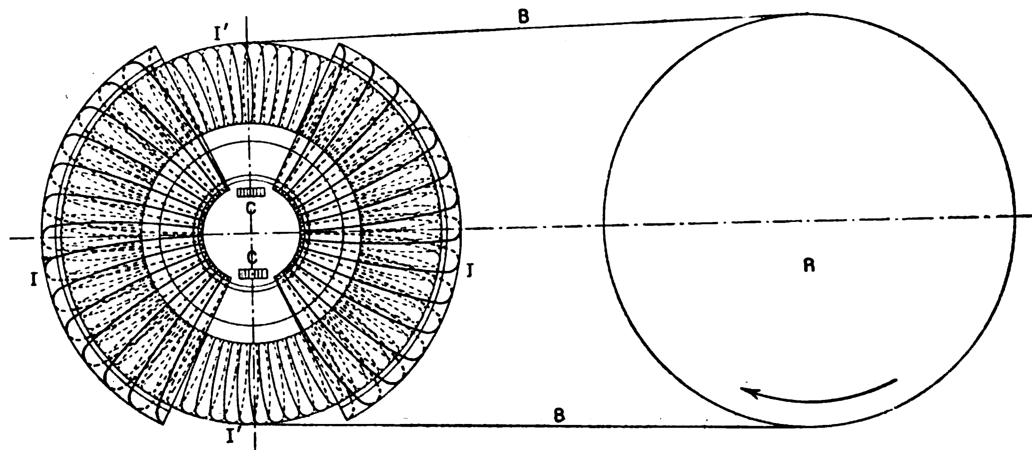


Fig. 9. — Dynamo bipolaire à courroie ; I inducteur ; I' induit ; C collecteur ; B courroie.

au cas d'un anneau ; les spires seront simplement un peu plus serrées vers le centre qu'à la périphérie. Envisageons donc ce cas particulier où le rayon de l'anneau est très grand ($R = \infty$) c'est à dire où le fil s'enroule sur un cylindre tubulaire percé d'une fente latérale. Considérons le fil inducteur partant d'un des bords de la fente. Après avoir fait un tour presque complet (la fente s'opposant à ce qu'il soit complet) autour du cylindre, le fil suit la fente et vient former une seconde spire un peu plus loin. Cette seconde spire est enroulée en sens contraire de la précédente. de sorte que chaque groupe de spires B_1, B_2, forme une bobine inverse de la voisine. Comme les bobines sont contiguës, les pôles de même nom se touchent et il s'ensuit que chaque groupe contribue à la formation des pôles communs.

Grâce à ce dispositif, la spire est utilisée en entier. Seule la petite longueur de fil longeant la fente ne concourt pas à la production du courant ; mais comme chaque bord de la fente est garni de conducteurs rectilignes parcourus par le même courant, dirigé en sens inverse selon le côté considéré, il en résulte que ces courants rectilignes n'influencent aucunement l'induit.

Dans le schema (fig. 1) on n'a représenté qu'une seule couche de spires, mais il est bien évident que le nombre de rangées superposées peut être plus considérable. De petits taquets *a b* retiennent les fils sur les bords de la fente et permettent de former un bourrelet extérieur ne gênant pas les mouvements de l'étoile qui supporte l'induit.

Soit le cas d'une bobine enroulée sur un cylindre allongé. — Le cas se rapproche du précédent, mais vu le faible diamètre du cy-

lindre inducteur, on adoptera un autre mode de passage d'un anneau à l'autre. Au lieu de

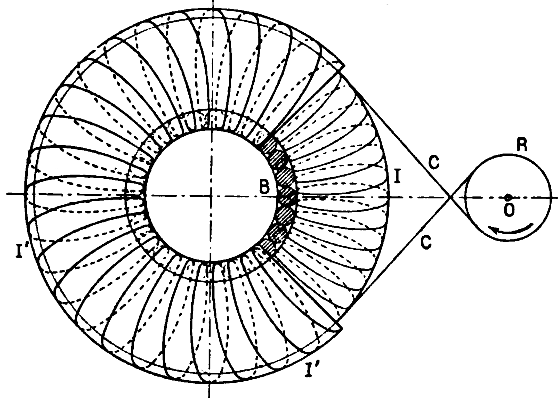


Fig. 10. — Dynamo unipolaire a courroie.
I induit, B billes de bronze ;
I' inducteur ; C courroie.

conduire le fil (ayant formé une spire de la bobine 1) le long de la fente jusqu'à la bobine 2, on lui fait franchir l'axe en le contournant et on l'amène au point symétrique pour amener la spire (soit 6 par cm) symétrique de la première (fig. 2 et 3).

Comme il s'agit ici d'une machine destinée à produire des courants alternatifs, il n'y a pas d'inconvénients à multiplier le nombre des bobines élémentaires.

Collecteurs. — Dans les descriptions précédentes, il n'a été question des balais ni des collecteurs. De fait, leur construction est connue, les modèles employés ici ne différant pas en principe de ceux en usage ordinairement. Ils sont montés, bien entendu, sur l'axe de l'induit, les balais étant fixés au bâti de la machine.

Fer. — Dans le modèle que l'on a tenté de construire, *les hélices étaient constituées par des fils de fer* (fer au bois très pur) *recouverts de cuivre par galvanoplastie.* On sait, d'aprè

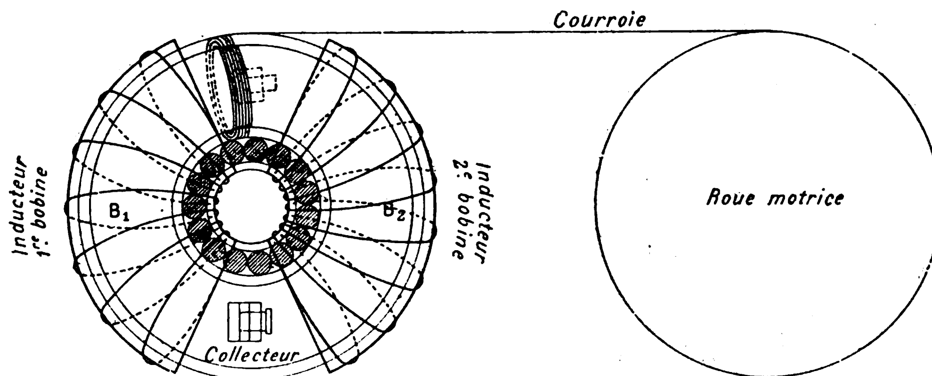


Fig. 11. — Dynamo à courroie

les théories sur la conductibilité électrique que l'électricité se porte à la surface des conducteurs, dans le cas des courants alternatifs du moins. Il faudrait donc calculer exactement quelle épaisseur on doit donner à la couche de cuivre pour que d'une part, le courant passe librement et que d'autre part, le revêtement ainsi formé présente les garanties de solidité nécessaires.

Le dispositif indiqué ici pourrait sans doute s'appliquer avec avantage à d'autres systèmes d'induits.

Transformateur. — La machine dynamo électrique à hélices concentriques constitue un excellent transformateur pour courants continus. Il est nécessaire toutefois de la munir de deux collecteurs et de lui faire subir quelques petites modifications. Soit, par exemple la machine à billes. L'hélice externe (inductrice) ne sera pas changée, quant à l'hélice interne, elle recevra deux enroulements, l'un de fil fin et l'autre de gros fil. La section des fils sera calculée d'après le voltage désiré.

Grâce à ce dispositif, on pourra utiliser un

seul élément de pile pour alimenter des lampes de 10 ou 15 volts. Il suffira d'interposer le transformateur.

La pile sera constituée par d'énormes récipients, de tonneaux, par exemple, dans lesquels on placera les électrodes. Ces dernières seront de zinc et de cuivre ou de zinc et de charbon selon le type choisi.

Il est facile par exemple, de construire une pile monstre au sulfate de cuivre, genre Callaud ou Cabaret. Dans un récipient convenable (tonneau dont on a supprimé l'un des fonds) on place un tuyau de plomb de 10 centimètres de diamètre environ. Ce tube constitue l'électrode positive, l'électrode négative est formée d'un cylindre de zinc entourant la partie supérieure du tube de plomb sans le toucher. On charge la pile en remplissant le tube de plomb de cristaux de sulfate de cuivre et l'on verse de l'eau pure ou faiblement acide dans le tonneau. On obtient ainsi un élément facile à entretenir et peu coûteux. Après quelques jours de fonctionnement, la résistance intérieure de la pile diminue considérablement.

Si l'on se sert d'un transformateur, on pourra accroître la force électromotrice dans une assez forte proportion. Il est évident qu'un élément unique au bichromate de potasse, analogue au précédent, donnera, une intensité de courant bien supérieure.

A. BERTHIER.

DEUX MÉTHODES POUR DÉCOUVRIR ET ÉTUDIER

LES COURANTS DANS LES CIRCUITS MÉTALLIQUES OUVERTS ET LES COURANTS DE DÉPLACEMENT DANS LES DIÉLECTRIQUES

Les actions mécaniques qui accompagnent les actions inductrices des champs variables m'ont fourni deux méthodes pour étudier les courants induits dans les circuits métalliques ouverts et les courants de déplacement dans les diélectriques (1).

I. Un circuit métallique ouvert ou un diélectrique peut être le siège de courants alternatifs ou variables. On peut provoquer et étudier ces courants en plaçant dans un champ magnétique alternatif F_m soit une petite bobine ouverte, soit un anneau ouvert en métal auquel on peut associer un condensateur à lames de mica pour en augmenter la capacité, soit un anneau diélectrique. Le courant i, induit par le champ alternatif F_m dans le circuit, excite lui-même autour du circuit un champ alternatif secondaire f_m. Les actions électromagnétiques produisent un couple qui tend à dévier le circuit ouvert. L'observation des déviations du circuit fournit le moyen d'étudier les courants dont il est le siège.

Dans la *première méthode* le circuit ouvert ou le diélectrique est suspendu entre les noyaux de deux électro-aimants excités par le courant d'un alternateur Siemens ; il est ainsi placé dans un champ dont la variation est sinusoïdale à 2 pour 100 près. Le couple moteur est maximum quand l'axe de l'anneau est à 45° de l'axe des noyaux. Le couple moteur, dû aux réactions mutuelles des deux champs F_m et f_m, est à chaque instant proportionnel à $F_m f_m$ et sa valeur moyenne Γ, qui produit la déviation observée, est proportionnelle à

$$\frac{1}{T}\int_0^T F_m f_m \, dt,$$

T étant la période du champ primaire.

Si la perméabilité μ des noyaux est sensiblement constante, Γ est proportionnel au carré moyen de l'intensité du courant des électroaimants, c'est à dire au carré de l'intensité efficace I mesurée par l'électrodynamomètre. Si, de plus, les déviations sont

(1) Je tiens à exprimer ici ma plus vive reconnaissance à M. le professeur H.-F. Weber, doyen de l'Institut fédéral de Physique à Zurich, qui a bien voulu mettre à ma disposition toutes les ressources de ses laboratoires, et à M. le professeur Nicolas de Egoroff, de l'Académie militaire de Médecine de St Pétersbourg, pour le concours amical qu'il m'a prêté lors des premiers essais effectués dans son laboratoire de Physique.

assez faibles pour que l'on puisse supposer constant le coefficient de proportionnalité de Γ, les déviations Δ sont proportionnelles à Γ, c'est à dire à I^2. On fait d'abord une série d'expériences avec les courants constants $I_1, I_2, \ldots, I_n$; les champs constants correspondants donnent des déviations Δ_1, Δ_2, ..., Δ_n, dues seulement aux propriétés magnétiques du circuit ouvert. On observe ensuite les déviations $\Delta'_1, \Delta'_2, \ldots, \Delta'_n$ produites par des courants alternatifs dont les intensités efficaces $I'_1, I'_2, \ldots, I'_n$ sont choisies très voisines des intensités correspondantes des courants constants.

Les *déviations réduites* $\frac{\Delta}{I^2}$ sont retranchées deux à deux ; les différences ainsi obtenues, telles que : $\frac{\Delta'_1}{I'^2_1} - \frac{\Delta_1}{I^2_1}$, sont, sous les conditions citées, *uniquement dues* aux réactions des deux champs ou, si l'on veut, aux actions de F_m sur le courant i induit dans l'anneau et doivent suivre les lois de ces actions prévues par le calcul. L'anneau sera placé assez loin des bobines et des noyaux pour éviter :

1° L'action électrostatique due aux charges électriques du fil des bobines et du circuit ouvert [1] ;

2° La déviation que le fer produit directement sur les lignes de force du champ secondaire et qui produit sur le circuit une action mécanique présentant une loi et un coefficient de proportionnalité propres.

C'est cette dernière influence du fer qui est au contraire prépondérante dans la *seconde méthode*. Dans une *première variante*, l'anneau est perpendiculaire aux axes des noyaux déplacés parallèlement l'un à l'autre de façon à produire un couple. Dans la *seconde variante*, les deux noyaux se touchent de façon à former un noyau unique qui traverse l'anneau perpendiculaire à l'axe commun des noyaux; les masses perméables de fer ne sont plus celles des noyaux ; ce sont deux secteurs demi-circulaires en fer qu'on place autour du noyau de part et d'autre de l'anneau et symétriquement par rapport au centre de l'anneau. L'avantage de la seconde méthode est que, l'action utilisée augmentant rapidement quand la distance des masses de fer à l'anneau est diminuée, on peut avoir des déviations assez grandes. Cela est surtout facile pour la seconde variante où l'on peut rapprocher à volonté les secteurs de l'anneau ; on tiendra compte, s'il y a lieu, du changement de position de l'anneau. (Le cas ne s'est pas présenté.) L'influence du fer sur la grandeur de l'induction dans l'anneau empêchera de calculer cette induction (que l'expérience seule fera connaître). On peut éliminer l'action électrostatique en constituant les secteurs par des fils fins isolés disposés radialement, c'est à dire perpendiculairement à la force électromotrice, ou par des plaques très fines disposées suivant les méridiens; on peut enfin essayer d'employer de la limaille fine. Dans la première variante, on a, outre l'action prépondérante du fer, celle que le champ distordu F_m exerce sur le courant i et qui donne un couple proportionnel au premier. On détermine cette influence en observant les déviations, comme dans la première méthode, à la fois pour le champ constant et pour le champ alternatif correspondant et calculant les différences des déviations réduites. On peut négliger ce second couple dans la seconde variante, car le champ F_m n'est pas sensible à l'extérieur des noyaux au contact.

II. La première méthode a été employée pour les diélectriques. On ne pouvait employer la seconde variante de la seconde méthode, car la déviation dans ce dispositif se montrait aussi petite avec le champ alternatif qu'avec le champ constant ; l'influence des oscillations du champ se montrait seulement quand on éloignait les noyaux primitivement au contact. C'est dire que : *les courants de déplacement dans un diélectrique existent seulement s'il y a rayonnement direct du champ primaire*

[1] Voir à ce sujet : W. de Nikolaieve, *Note sur la manifestation des champs électrostatiques qui se produisent autour des circuits ouverts ou fermés parcourus par les courants alternatifs* (*Journal de Physique*, 3e série, t. II, p. 36-42 ; 1893).

à travers le diélectrique; au contraire, cela n'est pas nécessaire pour un anneau métallique discontinu, ce qui a permis d'employer le dispositif des secteurs pour les circuits métalliques ouverts.

Les noyaux de fer étaient carrés de 30 mm de côté et 45 cm de longueur et formés de lames de 0,5 mm d'épaisseur, ou bien ronds de 27 mm de diamètre et 50 cm de longueur, formés de fils de fer de 0,5 mm de diamètre. Chaque bobine avait 300 tours de fils, ce qui donnait, pour les deux bobines, 8 400 ampères-tours au plus. Le bifilaire, protégé des courants d'air par un tube de carton, était formé de 2 fils de cocon ou de 2 fils d'argent de 0,05 mm de diamètre, distants de 6 ou 10 mm, longs de 222 cm, se rejoignant en bas autour d'une poulie. L'anneau était suspendu à la poulie par une tige portant un miroir à 12 cm au dessus de l'anneau, pour soustraire le miroir comme la poulie à toute action magnétique. On observait, dans une lunette, les traits réfléchis dans le miroir d'une échelle placée à 250 cm du miroir, de sorte que 1 mm de l'échelle correspondait à une déviation du miroir égale à 0',704. Il n'était pas facile de disposer l'anneau rigoureusement à égale distance des deux faces polaires des noyaux; par suite, outre le couple de rotation, il y avait toujours une petite force supplémentaire qui, mettant l'anneau en mouvement pendulaire très lent, produisait une oscillation du zéro. Cette cause d'erreur, qui a beaucoup gêné, sera supprimée avec un dispositif permettant de changer progressivement la position de l'anneau jusqu'à ce qu'un champ très fort ne produise plus de mouvement pendulaire ; on ajustera plus facilement l'anneau dans une cage entièrement en verre avec des glaces permettant de le voir toujours.

On a observé que la perméabilité μ des noyaux carrés, munis de 1680 spires supplémentaires de fil fin et étudiés au moyen d'un électromètre multicellulaire de Lord Kelvin, ne présentait que des variations de 4 pour 100 au maximum quand la fréquence n variait. Avec les noyaux ronds, le voltmètre Cardew employé montrait, quand n diminuait, une augmentation de μ qui n'était probablement qu'apparente et explicable par la diminution avec n de la self-induction du circuit que fermait le Cardew.

III. Les *expériences sur un circuit métallique ouvert* ont été réalisées avec un anneau en cuivre électrolytique pesant 34,565 gr, de 4 mm de hauteur axiale, 25,375 mm de rayon extérieur, 18,7 mm de rayon intérieur, ouvert suivant un arc extérieur de 2 mm et que l'on plaçait à 1 mm des secteurs de fer de la seconde méthode (seconde variante),

L'expérience ne donnait pas de déviation observable pour les courants constants ; c'est dire que le champ F_m n'est pas sensible à l'extérieur des noyaux au contact et que le cuivre est presque neutre dans l'air ambiant. Les déviations Δ', Δ'', correspondant aux courants d'intensités efficaces I', I'', sont dues à l'oscillation des champs de périodes T', T'' (laissons de coté provisoirement l'action électrostatique). On peut chercher à quelle loi doit satisfaire le rapport $A = \dfrac{\frac{\Delta'}{I'^2}}{\frac{\Delta''}{I''^2}}$ en assimilant le courant qui parcourt le circuit ouvert à un courant d'intensité uniforme, comme si le circuit était fermé : Le champ $F_m = F_0 \sin 2\pi \frac{}{T}$ envoie à travers l'anneau un flux $Q_m = N F_m$ dont les oscillations produisent la force électromotrice d'induction :

$$\mathcal{E} = \frac{dQ_m}{dt} = NF_0 \frac{2\pi}{T} \cos 2\pi \frac{t}{T}$$

qui produit dans l'anneau de résistance r et de coefficient de self-induction L un courant i tel que :

$$ri + L\frac{di}{dt} = \mathcal{E}$$

D'où

$$i = A \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \right)$$

avec

$$\operatorname{tang} 2\pi\varphi = \frac{2\pi L}{rT} \qquad \text{et} \qquad A = \frac{NF_0}{L} \sin 2\pi\varphi.$$

Le flux secondaire émis par l'anneau à travers le fer des secteurs est :

$$q_m = i\,L = N\,F_0 \sin 2\pi\varphi \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \varphi\right).$$

Le moment du couple moteur, à chaque instant proportionnel à q_m^2, a pour valeur efficace

$$\Gamma = C\frac{1}{T}\int_0^T q_m^2\,dt = \frac{PF_0^2}{2}\sin^2 2\pi\varphi = \frac{PF_0^2}{2}\,\frac{1}{1+\left(\frac{r}{L}\right)^2\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2}.$$

Or Γ est proportionnel à Δ, et F_0 à I. On a donc, pour les deux périodes T' et T'' :

$$A = \frac{\frac{\Delta'}{I'^2}}{\frac{\Delta''}{I''^2}} = \frac{1+\left(\frac{r}{L}\right)^2\left(\frac{T''}{2\pi}\right)^2}{1+\left(\frac{r}{L}\right)^2\left(\frac{T'}{2\pi}\right)^2}.$$

D'où

$$\frac{r}{L} = \sqrt{\frac{A-1}{\left(\frac{T''}{2\pi}\right)^2 - A\left(\frac{T'}{2\pi}\right)^2}}. \qquad (1)$$

Quoique la formule (1), renfermant $\sqrt{A-1}$ au numérateur, exige une grande précision dans les mesures des déviations réduites puisque A — 1 est proportionnel à leurs seules différences, les douze valeurs de $\frac{r}{L}$, calculées d'après les quinze valeurs observées des déviations pour différentes fréquences $n = \frac{1}{T}$ du champ et différentes valeurs de I, sont suffisamment concordantes

$n' = 983$	$n'' = 901{,}0$	$797{,}5$	$701{,}0$	$604{,}0$
$\frac{r}{L}$ calculé (1)...	219,45	207,28	229,47	212,29
	222,23	231,30	238,30	227,31
	209,72	248,50	238,72	237,66

D'autre part, l'action électrostatique devait être faible, car les potentiels électriques aux extrémités des secteurs ne dépassaient pas $\frac{1}{100}$ de volt, et une augmentation de section et de surface de l'anneau, qui aurait dû diminuer l'action électrostatique, augmentait beaucoup la déviation. On peut donc dire que le phénomène observé est dû à un courant circulant dans l'anneau ouvert et se comportant sensiblement comme un courant alternatif dans un circuit fermé. Avant d'interpréter d'une façon définitive ces expériences, je désire les reprendre en opérant avec la première méthode sur des bobines ouvertes avec ou sans condensateur : 1° formées d'un fil assez fin pour pouvoir négliger les courants de Foucault dus au faible flux de force alternatif extérieur au fer des noyaux et traversant la masse de l'anneau, et 2° placées assez loin des masses de fer pour éviter les actions électrostatiques. La formule (1) s'applique encore dans ces conditions.

(1) Le L assimilé, d'après M. Wien (*Wiedmann's Annalen*, décembre 1894), au L d'un tore continu a été trouvé par la formule de Maxwell égal à 51,5 C.G.S. La valeur réelle devait être plus grande à cause du voisinage des masses de fer; la valeur moyenne expérimentale de $\frac{r}{L}$ (222,64) et la valeur de r (70 940 C.G.S.) ont, en effet, donné pour L : 316,6.

IV. Les *expériences sur les diélectriques et les électrolytes* ont été faites par la première méthode sur des anneaux à section carrée, de paraffine ou de cire jaune (1), et sur l'eau distillée, l'acide sulfurique de conductibilité maximum, le sulfure de carbone, le sulfate de cuivre ou de fer contenus dans des tubes annulaires en verre.

Le déplacement électrique D, en un point d'un diélectrique placé dans un champ variable, est lui-même variable, ce qui produit un courant de déplacement $i = \frac{dD}{dt}$ qui, à son tour, excite le champ extérieur au même titre qu'un courant de conduction. C'est ce qu'expriment les équations de Maxwell (2) qui représentent le champ magnétique en fonction simultanée du courant de conduction et de la vitesse de variation du déplacement électrique.

D'après Maxwell, *un milieu diélectrique polarisé est* (3) *le siège d'énergie électrique* ; *et l'énergie, pour l'unité de volume du milieu, est*

(1) La dislocation des anneaux et des disques de soufre, pendant le refroidissement, m'a empêché d'expérimenter sur ce diélectrique.

(2) C'est aussi ce que les expériences de Roentgen et H. Herz ont établi.

(3) MAXWELL, *Électricité et Magnétisme*, traduction française, d'après la 2e édition anglaise, t. I. p. 176.

égale à $\frac{2\pi}{K}D^2$, où K est le pouvoir inducteur spécifique et D le déplacement électrique, c'est à dire la quantité d'électricité qui a traversé l'unité de surface perpendiculaire aux lignes d'induction. L'énergie totale de polarisation diélectrique est, à l'instant où le déplacement est D :

$$W = \frac{2\pi D^2}{K} v,$$

v désignant le volume de l'anneau diélectrique. L'énergie d'aimantation du milieu ambiant (y compris l'anneau dont la nature magnétique peut intervenir), ou énergie dite de self-induction, est de la forme $\frac{Li^2}{2}$, L jouant le rôle de coefficient de self-induction.

Les variations de ces deux énergies sont provoquées par l'énergie $i\,dQ_m$ que fournit la variation du flux Q_m induit par le champ magnétique extérieur F_m à travers l'anneau. La conservation de l'énergie fournit l'équation :

$$i\,dQ_m = d\frac{2\pi D^2}{K} v + d\frac{Li^2}{2},$$

qu'on peut écrire :

$$i\frac{dQ_m}{dt} = \frac{4\pi D}{K}\frac{dD}{dt} v + Li\frac{di}{dt},$$

et, en tenant compte de $i = s\frac{dD}{dt}$

$$\frac{dQ_m}{dt} = \frac{4\pi D}{K}\frac{v}{s} + Ls\frac{d^2D}{dt^2}.$$

Le champ F_m étant périodique simple

$$F_m = F_0 \sin\frac{2\pi t}{T}, \qquad Q_m = N F_m = N F_0 \sin\frac{2\pi t}{T},$$

et D sera aussi périodique simple ce qui entraîne

$$\frac{d^2D}{dt^2} = -\frac{4\pi^2}{T^2} D.$$

Alors :

$$\frac{dQ_m}{dt} = \left(\frac{4\pi}{K}\frac{v}{s} - \frac{4\pi^2}{T^2} Ls\right) D.$$

D'où

$$D = \frac{\frac{dQ_m}{dt}}{\frac{1}{K}\frac{4\pi^2}{T^2}\left[\frac{v}{\pi s} T^2 - KLs\right]},$$

et

$$i = s\frac{dD}{dt} = \frac{-s\frac{4\pi^2}{T^2} Q_m}{\frac{1}{K}\frac{4\pi^2}{T^2}\left[\frac{v}{\pi s} T^2 - KLs\right]}$$

$$i = \frac{-KsQ_m}{\frac{v}{\pi s} T^2 - KLs}.$$

Le diamètre moyen b de l'anneau est supposé assez grand par rapport au côté a de sa section carrée. On a :

$$v = \pi b s = \pi b a^2,$$

et

$$i = \frac{-Ka^2 Q_m}{bT^2 - a^2 KL} = \frac{-a^2 K N F_0}{bT^2 - a^2 KL} \sin 2\pi\frac{t}{T},$$

pour la valeur du courant compté dans le sens du déplacement croissant.

Le flux secondaire $q_m = Li$ donne en réagissant sur le flux primaire Q_m un couple Γ proportionnel à la valeur moyenne de $(Q_m q_m)$. Comme $bT^2 - a^2 kL$ (¹) est pratiquement positif, la valeur absolue du couple est :

$$\Gamma = \frac{C}{T}\int_0^T Q_m q_m\,dt = \frac{C}{T}\int_0^T \frac{La^2KN^2F_0^2}{bT^2 - a^2KL}\sin^2\frac{2\pi t}{T}\,dt,$$

$$\Gamma = \frac{1}{2}\frac{CN^2a^2KLF_0^2}{bT^2 - a^2KL} \text{ ou } \frac{CQ_0^2}{2}\frac{a^2KL}{bT^2 - a^2KL}.$$

(On désigne par C une quantité constante pour les faibles déviations observées qui ne changent pas la position de l'anneau.) Si l'anneau fait un angle aigu avec F_m, il subit le couple qui, pour un corps diamagnétique comme le sont les diélectriques étudiés, tend à augmenter la déviation relative au champ constant et pour un corps magnétique tend à la diminuer ; un diélectrique tend donc à se placer équatorialement sous l'influence du champ variable, un conducteur subit au contraire un couple qui tend à le placer axialement. Il faudra au moins quatre expériences avec quatre périodes différentes de l'alternateur pour vérifier l'équation obtenue en écrivant la proportionnalité des déviations aux couples moteurs.

(¹) a^2KL est même négligeable vis à vis de bT^2 à moins que la rapidité d'oscillation de F_m ne s'approche de celle des oscillations hertziennes.

Les observations relatives à un même anneau diamagnétique en paraffine donnent des déviations qui sont : 1° toujours plus grandes pour les champs alternatifs que pour les champs constants, ce qui est bien d'accord avec l'existence des courants de déplacement ; 2° plus grandes pour une plus grande fréquence n, ce qui est d'accord avec l'existence de la self-induction de ces courants. Ainsi un même anneau a donné des déviations réduites qui surpassaient en moyenne les déviations réduites du champ constant de 12 pour 100 de leur valeur avec une fréquence de 930, et de 9,03 pour 100 seulement avec une fréquence de 770.

Parmi les liquides électrolytiques, l'acide sulfurique diamagnétique donnait

	I.	Δ.	$\frac{\Delta}{I^2}$.
Champ constant ..	147,8	13,21	0,0006046
Champ alternatif..	148,5	11,60	0,0005261 diminution 14,9 pour 100

V. Ainsi :

1° Les expériences menées d'après les méthodes proposées peuvent servir à l'étude des courants induits dans un circuit ouvert métallique et semblent montrer que ces courants suivent les lois des courants alternatifs dans les circuits fermés ;

2° Elles permettent d'étudier les courants de déplacement dont les diélectriques placés dans un champ alternatif sont le siège conformément à la prévision de J. C. Maxwell, courants qui possèdent les mêmes propriétés magnétisantes et inductrices que les courants de conduction, mais qui, pour se produire, exigent, à l'opposé des courants de conduction dans un circuit ouvert, un rayonnement direct du champ primaire à travers la masse du diélectrique ;

3° La première méthode a démontré nettement que les électrolytes se comportent dans le champ magnétique alternatif comme les diélectriques parfaits ; ils exigent comme les diélectriques un rayonnement direct du champ primaire. Je pense qu'on peut attendre que les constantes diélectriques des liquides électrolytiques, déterminées par des expériences telles que les expériences actuelles, donneront des chiffres concordant avec la théorie de J. C. Maxwell. Ces expériences ne sont d'ailleurs que préliminaires et seront reprises en comparant les intensités des champs alternatifs avec celles des champs constants, afin de soumettre à une nouvelle étude les conclusions relatives aux circuits métalliques et aux diélectriques.

WLADIMIR DE NICOLAIEVE.

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Commutateur Davy (1895).

Ce commutateur se compose de trois paires de contacts demi cylindriques a_1, a_2, a_6, avec isolants b, reliés à la base c et au couvercle d par des boulons isolés e. A l'intérieur du cylindre ainsi formé, se trouvent les contacts mobiles h_1 et h_2, à ressorts i, disposés sur

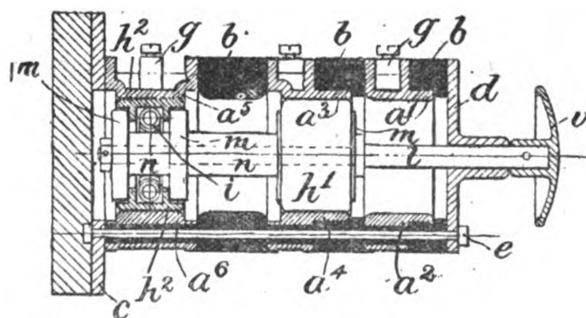


Fig 1

la tige e, avec pièces d'écartement $m\,n$ de manière à pouvoir relier deux à deux les contacts fixes d'une même paire a_1, a_2, a_3, a_4.

Ainsi qu'on le voit sur le diagramme (fig. 2) a_1 et a_2 sont reliés au circuit principal, a_6 à a_3 et a_4 à a_2. Quand les contacts mobiles occupent la position supérieure dans ce diagramme, le courant passe par a_1, h_1, a_1, la lampe montée entre a_3 et a_5 restant coupée du cir-

cuit. Dans la position inférieure, au contraire, le courant passe par a_4, h_1, a_2, la lampe, a_5, h_2, et a_6.

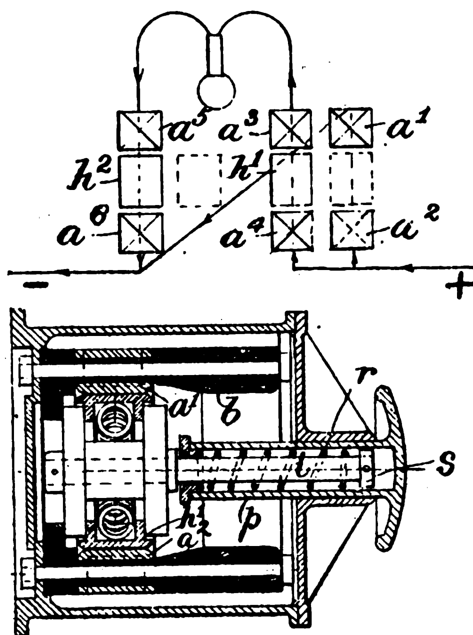


Fig. 2 et 3.

La variante représentée par la figure 3 n'a plus que deux contacts fixes a_1 et a_2 et un mobile h_1, que l'on manœuvre au moyen du manchon p_1, dont le ressort r ramène sa tige i brusquement, dès que sa tension est suffisante, et rompt ainsi très vivement le contact. On rétablit le circuit en repoussant s, de manière que p_1 enfonce le contact élastique h_1 dans a_2 a_1.

G. R.

Accumulateur Faure et King (1895)

Le support métallique A, en plomb, et la matière B sont enveloppés de papier d'amiante silicaté C protégée par une enveloppe de celluloïde ou d'ébonite D perforée, le tout ficelé en d. Le papier d'amiante silicaté, inattaquable au peroxyde de plomb, se prépare en plongeant une feuille de papier d'amiante ordinaire dans une dissolution de 5 pour 100 de silicate de soude ; on sèche à l'air, dont l'acide carbonique déplace la silice en formant du carbonate de soude et un précipité de silice adhérant qui consolide le papier laissé

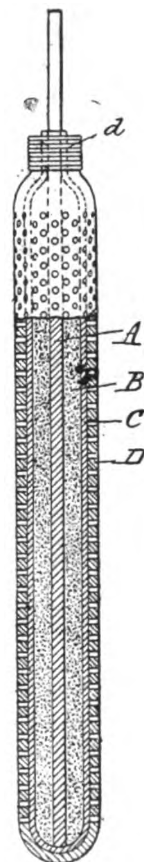


Fig. 1.

suffisamment poreux par la dissolution du carbonate de soude. Il faut répéter cette opération 3 ou 4 fois.

G. R.

Jonctions Jeckell (1894).

Les boîtes de jonction sont en deux parties A et A' serrées, par les boulons B et les oreilles C, sur un joint plastique D ; la boîte se termine par deux amorces E et E_1 pour recevoir, au travers des tubes F, à garnitures en bois, les câbles S S, à conducteurs G_1 G_2. En H et M, se trouvent des cloisons étanches réservant des vides T T, que l'on remplit de

matières hydrofuges ainsi que, s'il le faut, l'intérieur O de la boîte, par les bouchons P P. Le branchement P_1 P_2 est relié à G et G_1 par des pinces Q_1 Q_2, et sort par une garniture R, semblable aux précédentes. On peut ainsi avoir facilement accès aux câbles en démontant la partie supérieure de la boîte.

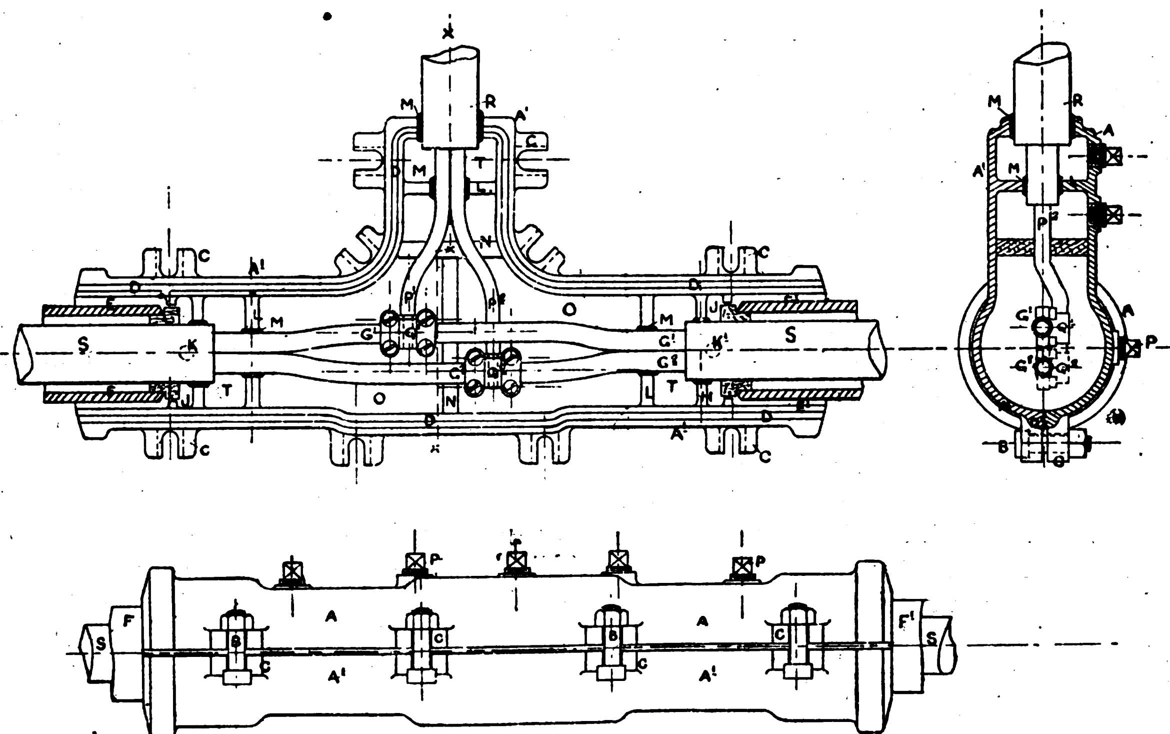


Fig. 1 et 2.

G. R.

Notes sur la vapeur surchauffée [1].

Sous ce titre, M. William H. Patchell donne la description et les résultats des essais de plusieurs surchauffeurs.

Tous ces appareils sont construits de façon à utiliser la chaleur des gaz s'échappant par la cheminée de la chaudière.

Ils ne diffèrent, en somme, que par la forme que les ingénieurs ont adoptée, tous cherchant à augmenter le plus possible la surface de chauffe sans accroître trop l'encombrement.

Ainsi la surface de chauffe d'une chaudière Babcock et Wilcox a été portée de 169,7 m^2 à 218,8 m^2 par l'adaptation d'un surchauffeur de MM. Phail et Simpson.

Les essais de cette chaudière ont été exécutés avant et après l'installation de cet appareil par M. Kennedy. Comme on devait s'y attendre, l'utilisation du pouvoir calorifique du charbon a été meilleure pendant les seconds essais. Le rendement est passé de 68,4 pour 100 à 74,9 pour 100. En même temps la dépense de vapeur de la machine a été diminuée; pour un kilowatt elle est descendue de 25,580 kg à 23,95 kg.

Avec un surchauffeur du même type, M. Armengand constata une économie de 30,9 pour 100 sur le poids d'eau utilisé ordinairement par une chaudière Lancashire.

Dans douze essais successifs d'un surchauffeur de M. Emile Schwœrer, qui fut secré-

[1] *The Electrical Engineer*, 28 février et 13 mars.

taire particulier de M. Hirn, l'économie de charbon varia entre 17,6 et 25 pour 100, et celle de la vapeur dépensée allait de 11 à 20 pour 100.

Il est à remarquer que pendant les essais de M. Kennedy la température de la vapeur surchauffée dépassait très peu celle qu'elle vait étant saturée.

La température à l'intérieur du tuyau amenant la vapeur à la machine n'était que de 9° supérieure à celle de la vapeur saturée.

D'après l'*Electrical Review*, M. Kaworth expliquerait les bénéfices que l'on constate dans l'emploi des surchauffeurs par l'augmentation de la surface de chauffe. Il y a bien là une des causes de l'économie de charbon, mais ce n'est pas la seule, puisque les essais prouvent une diminution dans la dépense de vapeur. M. Patchell, dans l'*Electrical Engineer*, déclare que le plus grand avantage que puisse procurer la surchauffe est d'absorber la rosée qui recouvre les parois et de contrarier la condensation,

Il voit aussi à la surchauffe un avantage sur la chemise de vapeur, en ce fait qu'elle apporte la chaleur à l'endroit même où elle est utile. Mais, si l'un des modes de combattre les refroidissements intérieurs à de grands avantages, nous ne pensons pas que l'une puisse exclure l'autre.

Les expériences que MM. Hirn et Hallauer citent dans leurs « réfutations d'une critique de M. G. Zenner » montrent qu'en effet la vapeur surchauffée en séchant les parois diminue leur pouvoir d'absorbsion. Le tableau où se trouve résumée une partie des résultats de ces expériences prouve nettement ce que nous avançons.

Mais si les avantages de la surchauffe sont très réels et très importants pendant l'admission, la thermodynamique démontre que son emploi pendant la détente diminue le rendement de la machine. Ce qui est très logique, d'ailleurs, puisque la surchauffe empêche d'utiliser en partie l'énorme quantité de chaleur qu'a nécessitée l'évaporation.

Si nous reprenons les expériences de MM. Hirn et Hallauer nous constaterons que même dans le cas où la température de la vapeur surchauffée dépassait de 100° celle de la vapeur saturée à la pression de fin d'admission, la chaleur emmagasinée par les parois durant l'introduction n'a pas été suffisante pour combattre le refroidissement dû aux surfaces découvertes par la marche du piston. Les parois ont, en effet, absorbé une nouvelle quantité de chaleur égale a 8,78 c. Il est certain que cette perte eut été très diminuée si le cylindre avait été recouvert d'une chemise de vapeur, puisque les parois eussent été moin froides. D'un autre côté, la conductibilité du fer est trop faible pour qu'il puisse normalement se produire de surchauffe dans le cylindre.

M. Patchell, fait remarquer qu'au point de vue pratique le surchauffeur a l'avantage, en augmentant le volume du coffre à vapeur de diminuer les chances de projection d'eau, et s'il s'en produit de diminuer leur importance, puisqu'une partie de l'eau sera vaporisée dans le surchauffeur.

A. G.

Statistique des tramways électriques en Europe.

Comme tous les ans, à pareille époque, *l'Industrie Électrique* vient de publier la statistique des tramways électriques en exploitation, en construction ou en projet, en Europe, au 1 janvier 1896.

Ce travail, toujours très intéressant à consulter, montre avec quelle rapidité la traction électrique s'est développée en Europe.

Ainsi que le montrent les tableaux ci-joints qui résument le travail publié par notre confrère, en une année, le nombre de lignes exploitées est passé de 70 à 111 ; leur longueur totale de 700 à 902 km ; la puissance des stations centrales, de 18 150 à 25 095 kilowatts et le nombre de voitures automotrices ou de locomotives de 1236 à 1747.

L'Allemagne tient toujours la tête de la liste avec 406 km de lignes ; la France vient au

Tableau I

STATISTIQUE DES LIGNES EN SERVICE 1895-1896

Etats	Long. totale des lignes en service au 1er janvier km		Puissance totale en kw		Nombre total des voitures automotrices	
	1895	1896	1895	1896	1895	1896
Allemagne..	366,17	406,4	5 264	7 194	932	857
Angleterre..	68,80	94,3	3 443	4 243	125	143
Autriche-Hongrie..	44,90	71,0	1 639	1 949	129	157
Belgique....	21,70	25,0	1 130	1 120	48	48
Bosnie......	—	5,6	—	75	—	6
Espagne....	14,00	29,0	210	600	12	26
France......	96,26	132,0	3 610	4 490	152	225
Hollande ...	—	3,2	—	320	—	14
Irlande.....	—	13,0	—	440	—	25
Italie.......	18,85	39,7	870	1 890	33	84
Suède et Norvège	6,50	7,5	146	225	11	15
Portugal....	—	2,8	—	110	—	3
Roumanie ..	5,43	5,5	140	140	15	15
Russie......	10,00	10,0	540	540	32	32
Serbie......	10,00	10,0	150	200	7	11
Suisse......	37,40	47,0	1 008	1 559	40	86
Totaux...	700,01	902,0	18 074	25 095	1 236	1 747

second rang avec 136 km, suivie de l'Angleterre avec 94 km, plus 13 km pour l'Irlande, portant ainsi à 109 km la longueur totale des lignes électriques du Royaume-Uni.

La Bosnie et le Portugal ont inauguré leurs premières lignes à traction électrique en 1895. Il ne manque plus à la liste que la Bulgarie, le Danemark et la Grèce pour que tous les états européens y soient représentés.

C'est toujours le système à conducteur aérien avec trôlet à contact roulant qui tient la tête. Il est employé sur 91 lignes. Il n'y a encore que 3 lignes à conducteur souterrain. Le système à rail central reste l'apanage de l'Angleterre, car sur 9 lignes qui l'utilisent 8 sont établies dans la Grande Bretagne. Il y a, enfin, 8 lignes à accumulateurs.

Il y a en plus, un grand nombre de lignes en construction et en projet qui font présager pour l'année courante un développement au moins comparable à celui de l'année écoulée.

Tableau II

NOMBRES ET NATURE DES LIGNES EN SERVICE 1895-1896

Etats	Lignes à conducteur aérien		Lignes à conducteur souterrain		Lignes à rail central		Lignes à accumulateurs		Total des lignes	
	1895	1896	1895	1896	1895	1896	1895	1896	1895	1896
Allemagne	35	21	1	1	—	—	—	—	22	36
Angleterre	7	4	1	1	7	8	1	1	13	17
Autriche-Hongrie......	6	3	1	1	—	—	—	2	4	9
Belgique	3	3	—	—	—	—	—	—	3	3
Bosnie	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1
Espagne................	2	1	—	—	—	—	—	—	1	2
France	11	7	—	—	1	1	3	4	11	16
Hollande...............	—	—	—	—	—	—	—	1	—	:
Irlande	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1
Italie.................	7	4	—	—	—	—	—	—	4	7
Suède et Norvège	1	1	—	—	—	—	—	—	1	1
Portugal	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1
Roumanie...............	1	1	—	—	—	—	—	—	1	1
Russie.................	2	1	—	—	—	—	—	—	1	2
Serbie	1	1	—	—	—	—	—	—	1	1
Suisse	12	8	—	—	—	—	—	—	8	12
Totaux..........	91	55	3	3	8	9	4	8	70	111

G. P.

Transport électrique de force à Romagnano-Sésia Italie.

A plusieurs reprises nous avons montré les avantages de l'électricité pour la transmission de la force motrice dans les ateliers ; aussi décrirons nous l'importante application de ce genre qui vient d'être faite dans les grandes papeteries Vonwiller et Cie à Romagnano.

Depuis quelques années la prospérité de ces établissements avait nécessité la construction de nouveaux ateliers ; ces nouveau ateliers ainsi que les anciens sont aujourd'hui pourvus de moteurs électriques de toutes dimensions de toutes puissances, et sont en outre éclairés par l'électricité.

Le courant est fourni par une station hydraulique située 5 km au lieu dit la Giarola ; la chûte est de 10,50 m avec un débit de 8000 litres par seconde.

Trois turbines de 270 chevaux chacune actionnent trois alternateurs à courants biphasés de 3 600 volts et 500 alternances, avec une vitesse angulaire de 180 tours par minute.

L'inducteur, en acier coulé, présente quelques particularités ; la moitié des pôles de même nom fait partie de la masse les autres pôles, en fer forgé, sont logés, munis de leur bobine d'excitation, dans les espaces laissés libres entre les premiers ; cette disposition imaginée par M. Broown, a été adopté dans les alternateurs des établissements du Niagara. Cet inducteur a la forme caractéristique des machines Brown, à arbre vertical ; les coussinets se trouvent sous la pièce tournante, ce qui permet un démontage plus facile tout en présentant l'avantage d'une construction plus simple.

L'induit fixe est constitué par un anneau de fer laminé, percé verticalement de trous ovales, contenant les spires de fil de cuivre isolées ; un couvercle en fonte placé sur chacun d'eux protège l'enroulement qui ne peut être vu de l'extérieur.

Le poids total d'une génératrice est de 11 140 kg.

Le courant d'excitation est fourni par deux dynamos à courants continus du type Manchester, couplées directement avec deux petites turbines de 25 chevaux, faisant 500 tours par minute. Une seule de ces machines suffit à l'excitation simultanée des trois génératrices; l'autre sert de réserve.

Le couplage des génératrices s'opère au moyen de la lampe de phase, et le courant, soit pour cette lampe soit pour les voltmètres, est donné par 4 petits transformateurs de 200 watts, dont 3 sont placés en dérivation aux bornes des génératrices et le quatrième sur les conducteurs.

Le courant de la station primaire est transporté par 4 fils de 8 mm de diamètre, à la station des transformateurs située dans les établissements Vonwiller et Cie. Les transformateurs sont au nombre de neuf ; sept de 90 kw sont à courants biphasés et deux de 15 kw sont monophasés. Six des premiers alimentent chacun un moteur de 120 chevaux, mais tous peuvent être réunis dans un circuit principal secondaire, destiné à égaliser la consommation de courant et équilibrer le débit des transformateurs. Le courant est distribué dans les diverses parties de l'établissement par trois conducteurs de 8 mm dont un sert de retour commun ; le réseau parcourt la périphérie des ateliers, offrant ainsi une grande facilité de branchement pour les moteurs actuellement en usage et ceux qui pourraient être installés à l'avenir.

Les anciens ateliers sont pourvus de 3 moteurs de 120 chevaux dont un est affecté aux presses et les autres à différentes machines-outils. Trois autres des moteurs de la même puissance servent dans les nouveaux ateliers pour la préparation de la pâte de bois et de la cellulose ; deux actionnent par transmission deux puissantes effilocheuses Escher-Wyss.

Les conditions imposées par le contact relativement aux moteurs n'étaient pas sans présenter quelques difficultés, Ce contact stipulait que les moteurs devaient pouvoir fonctionner en pleine charge avec une consommation de courant ne dépassant pas la

normale, et, en outre, de n'avoir ni balais ni bagues de contact.

Le système de moteur remplissant ces conditions est à 8 pôles ; l'induit est constitué par 9 émoulements déplacés de 40° par rapport à chaque pôle ; ces émoulements convergent d'un côté en un seul point, les autres extrémités se trouvant réunies entre elles au moment de la mise en marche au moyen d'un nombre égal de résistances, dissimulées dans l'induit et qui sont supprimées aussitôt que le moteur a atteint sa vitesse normale. L'axe du moteur est traversé du côté opposé à la poulie, par une tige filetée qui traverse également le petit volant extérieur pouvant tourner mais non se déplacer du plan de rotation; de sorte que si l'on arrête le volant c'est la tige qui se déplace. Intérieurement à l'induit celle-ci commande un petit cône de bronze qui, poussé à l'intérieur, réunit les neuf extrémités des enroulements. Au moment de la mise en marche la tige doit se trouver toute entière dehors ; dès que le moteur est en mouvement il suffit de poser la main sur le petit volant, ce qui l'empêche de suivre le mouvement de la rotation et fait pénétrer la tige et par suite amène le cône de bronze en contact.

Depuis le fonctionnement des moteurs ce système a toujours donné d'excellents résultats. Une épreuve au frein fut faite à l'un des moteurs de 120 chevaux ; le rendement du moteur ne pût être constaté avec une grande exactitude faute de wattmètre de capacité suffisante ; on s'est borné à se servir de deux ampèremètres Hartman et d'un voltmètre Cardew. Nous reproduisons la moyenne des résultats :

Chevaux	Intensité moyenne par phase en amp.	Tension moyenne en volts	Vitesse angulaire tours par m'	Energie apparente en watts
0	55	235	640	25 850
43,5	100	235	640	47 000
75	150	234	620	70 200
98	195	232	620	90 400
100	200	220	620	88 000
116	250	219	610	105 000
125	250	219	600	109 500
136	275	219	600	120 450

Ces chiffres suffisent à démontrer qu'à charge normale la consommation apparente d'énergie par cheval est relativement faible.

Ajoutons que la lumière électrique, qui a été appliqué dans toutes les parties de l'établissement, fonctionne également d'une façon satisfaisante, avec une régularité et une fixité suffisant aux exigences peu communes de la fabrication du papier blanc. C'est là un nouveau succès des courants polyphasés.

L. D.

Contrôle des installations électriques, par A. Monmerqué.

Nous avons annoncé [1] à nos lecteurs quelques extraits de l'ouvrage de notre collaborateur, M. Monmerqué. Les résultats d'exploitation « extrêmement intéressants », comme dit M. Fontaine dans son excellente préface, seraient tous à citer au point de vue de l'intérêt de la pratique courante des canalisations. Nous nous bornerons à citer un exemple relatif aux mesures d'isolement d'un réseau. Nous prendrons le cas d'une distribution à 3 fils à 220 volts en courant continu. On trouve encore quatre autres exemples de courant continu : distribution à 2 fils 110 volts à 220 volts, câbles nus ou recouverts, 5 fils à 440 volts, câbles armés et 2 fils à 1 500 volts. Il y a aussi plusieurs exemples pour le courant alternatif à haute tension, avec câbles concentriques ou câbles ordinaires.

Dans le chapitre intitulé : *Constantes numériques expérimentales*, nous citerons bientôt un travail original de l'auteur, savoir les expériences faites à l'usine des Halles en 1894, pour déterminer la résistance du corps humain au courant continu et au courant alternatif.

a). — Courant continu, distribution à 3 fils, 220 volts ; conducteurs nus sur isolateurs en porcelaine dans des conduites en béton de ciment, dites caniveaux, fil compensateur à la terre.

Dans un système de distribution à 3 fils en cuivre nus, établi sur l'un des secteurs de Paris, on opère de la manière suivante :

[1] *Éclairage Électrique*, t. VI, p. 276 ; 8 février 1896.

Toute la canalisation a été divisée en un certain nombre de sections, 400, en nombre rond, d'une longueur inférieure chacune à 200 mètres. Ce sectionnement est obtenu par des plombs fusibles enchâssés dans des plaques de cuivre qui forment interrupteurs et qu'on enlève et remet avec la plus grande facilité durant les heures de faible consommation sur la ligne. On détermine tous les jours l'isolement à la terre de plusieurs sections, de façon que chacune soit contrôlée une fois par mois.

On se sert, à cet effet, d'un galvanomètre de résistance connue et on utilise le voltage

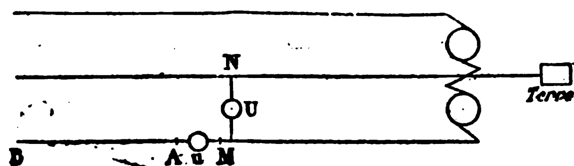


Fig. 1.

de la distribution même, soit 110 volts environ. On opère successivement en général sur les deux fils extrêmes de distribution. Un conducteur étant coupé aux deux extrémités de la section et les abonnés étant débranchés à leur boîte, on réunit ce conducteur avec le pôle du même nom sur la ligne au moyen du galvanomètre. Si le fil essayé est bien isolé, aucun courant ne le traversera et l'aiguille ne bougera point; sinon, on lira la déviation.

On opère de la manière suivante :

Soient les 3 fils de distribution (fig. 1), le fil neutre étant relié à la terre à l'usine.

On veut mesurer l'isolement de la section A B, qui est coupée, du réseau.

Le galvanomètre mis entre M et N indique U volts, 110, par exemple ; mis entre M et A, il indique u volts. On utilise ainsi le voltage de la distribution même, le réseau restant en charge pendant les essais.

Connaissant U, u, et la résistance r du galvanomètre, on peut déduire la résistance ρ de la perte à la terre de A B.

Dans le galvanomètre une déviation de 1 division correspond à une intensité $\frac{1}{r}$ et, pour u divisions, l'intensité traversant le galvanomètre est proportionnelle à $\frac{u}{r}$.

Cette intensité est obtenue sous la différence de potentiel U traversant la résistance ρ cherchée et celle du galvanomètre r, c'est à dire $\frac{U}{r+\rho}$. On a donc

$$\frac{u}{r}=\frac{U}{r+\rho}.$$

On en déduit :

$$\rho=r\left(\frac{U}{u}-1\right).$$

Pour un galvanomètre ordinaire, on a $r=2\,500$ ohms environ et on peut lire une déviation égale à une demi-division au départ, c'est à dire qu'on peut mesurer

$$\rho=2\,500\left(\frac{110}{\frac{1}{2}}-1\right)=2\,500\times 219,$$

soit environ 500 000 ohms.

Pratiquement, on ne détermine pas exactement le chiffre dépassant cette limite et on écrit : > 500 000 ohms.

On voit que si $u=U$, $\rho=0$; on a alors un contact franc à la terre.

On dresse une table qui donne la valeur de ρ immédiatement pour des valeurs de u comprises entre 1/2 et 120 volts.

Quand l'isolement tombe au-dessous de 200 000 ohms, la section est mise en observation ; quand il descend au-dessous de 2 500 ohms, on recherche le défaut.

Pour cela, on emploie une boussole, de la manière suivante :

Une fouille est faite en un point suspecté, s'il y en a un, ou au milieu de la longueur en essai, s'il n'y en a pas. La section avariée est débranchée à ses deux extrémités A et B (fig. 2). Une boussole très sensible C est posée sur le câble suspect. Alors, avec un fil attaché sur le pont voisin, laissé en service, on établit un contact rapide, d'abord à droite et ensuite à gauche de la boussole.

Deux cas peuvent se présenter :

1° L'aiguille ne dévie que d'un côté, le côté D, par exemple. La perte se trouve entre la

fouille actuelle et le point B. On pratique une nouvelle fouille entre ces deux points et on procède de la même façon, jusqu'à ce que, par tâtonnements, on ait trouvé le défaut;

2° L'aiguille dévie des deux côtés. Il y a alors au moins deux points malades. On cherche d'abord, comme il vient d'être dit, la perte qui correspond à la plus grande déviation.

La pratique a montré que les recherches devaient, avant tout, se porter sur les branchements qui pourtant sont en câble isolé (série 4 des usines Rattier). Dans la plupart des cas, c'est sur les branchements qu'on trouve les pertes.

Les mesures sont faites avec beaucoup de soin.

Cette administration se rend compte de l'isolement général du réseau de la manière suivante :

On récapitule chaque mois, dans un tableau le nombre n de conducteurs dont l'isolement a une valeur déterminée, par exemple 110 000 ohms ; avec cette valeur, le voltage étant de 110 volts entre chaque conducteur et le fil neutre (à la terre), la perte à la terre sur chaque conducteur est de $\frac{110}{110\,000}$, soit un millième d'ampère. En multipliant par le nombre n de conducteurs on a la perte totale pour ces n conducteurs ; de même, pour toutes les séries de conducteurs d'un isolement donné. On peut donc trouver la perte totale en ampères sur tout le réseau en additionnant la somme des pertes de chaque série.

On trouve ainsi que, sur un réseau où circulent en hiver jusqu'à 15 000 ampères dans le grand service et qui a une longueur totale de 60 km en distributeurs et 17 km en feeders, la perte est, en moyenne, de 1 ampère. Ce résultat fait honneur à l'administration du secteur et à son personnel.

Le tableau suivant indique le modèle en usage pour le registre des essais d'isolement.

TABLEAU I

Désignation de la partie du réseau dont l'isolement est mesuré	Désignation du pôle du circuit mesuré Résistance minimum en ohms	Mois de janvier			Mois de		
		Date	Volts relevés et déviation du galvanomètre	Résistance correspondante en ohms	(Même désignation pour les 12 mois de l'année).		
De la rue de	+ côté rue						
à la rue de	— côté maisons						
côté pair	± fil compen^r.						

Voici les résultats pour trois sections quelconques pendant une année et le résumé des résultats obtenus pour tout le réseau pendant une année entière (tableau II).

On résume les résultats obtenus en groupant ensemble les sections dont l'isolement est compris dans les mêmes limites ; le tableau III, qui s'applique à l'année 1893 a été ainsi dressé :

On peut déduire de ce tableau la perte moyenne générale à la terre du réseau à chaque instant. Si la résistance d'isolement à la terre d'une section est R ohms, la perte sur cette section est $\frac{110}{R}$ ampères, 110 volts étant la différence de potentiel entre chaque conducteur et la terre. En additionnant ces pertes, on trouve la perte totale.

En faisant ce travail pour chaque mois, on obtient le diagramme suivant (fig. 3).

Ce diagramme montre :

1° que l'isolement du pôle négatif est moins bon sur le réseau que celui du pôle positif : le contraire vaudrait mieux ;

2° que l'isolement est le meilleur vers le mois d'avril, le moins bon vers novembre, avec deux autres maxima relatifs en janvier et août et un autre minimum relatif en octobre ;

Tableau II

Mois	Section A.		Section C.		Section B.	
	Volts relevés et déviation du galvanomèt.	Résistance correspondante en ohms	Volts relevés et déviation du galvanomèt.	Résistance correspondante en ohms	Volts relevés et déviation du galvanomèt.	Résistance correspondante en ohms
Janvier	»	»	»	»	»	»
Février	113 — 0	> 500 000	»	»	»	»
Mars	113 — 0	> 500 000	»	»	»	»
Avril	113 — 0	> 500 000	113 — 5	88 560	118 — 0	> 500 000
Mai	113 — 2	227 500	118 — 0	> 500 000	117 — 3	115 800
Juin	113 — 2	227 500	114 — 0	> 500 000	117 — 4	115 800
Juillet	114 — 3	151 700	114 — 0	> 500 000	117 — c	> 500 000
Août	114 — 0	> 500 000	114 — 0	> 500 000	118 — 0	> 500 000
Septembre	114 — 0	> 500 000	114 — 0	> 500 000	117 — 4	115 825
Octobre	115 — 0	> 500 000	115 — 0	> 500 000	117 — 4	115 825
Novembre	115 — 0	> 500 000	115 — 0	> 500 000	118 — 2	237 800
Décembre	115 — 0	> 500 000	115 — 0	> 500 000	120 — 0	> 500 000

3° que, en nombre rond, la perte à la terre du réseau est 1 égale à ampère, ce qui correspond à une résistance réduite de l'emsemble égal à $\frac{110}{1}$, soit 110 ohms pour un réseau, comme on l'a vu, de 60 km de distributeurs en nombre rond.

On constate que l'isolement est plutôt meilleur l'hiver que l'été ; dans cette dernière saison, en effet, la vapeur d'eau contenue dans l'air extérieur, se condense sur les parois relativement froides du caniveau, tandis qu'en hiver l'échauffement des conducteurs entretient, au contraire, une température supérieure à celle de l'air extérieur.

Avec cette surveillance particulière, la canalisation en fils nus et caniveaux dont le premier exemple connu est le projet déposé par M. Clerc en juin 1887 entre les mains de M. Allard, ingénieur en chef des Ponts et chaussées, directeur de la voie publique des Travaux de Paris, offre certains avantages spéciaux qui peuvent compenser en partie leurs inconvénients.

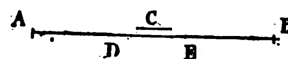


Fig. 3.

Les pertes à la terre ne dépassent pas les limites admissibles et les branchements sont fort faciles à établir. Grâce à cet entretien

Tableau III. — État récapitulatif des mesures d'isolement

MESURES Résistances en OHMS	POLARITÉ	19 sept. au 22 nov. 1892.		23 nov. au 13 janvier 1893.		13 janvier au 21 février		23 février au 3 avril.		4 avril au 7 mai		8 mai au 6 juin		10 juin au 10 juillet.		11 juillet au 9 août		10 août au 6 sept.		7 sept. au 4 octobre.		5 octobre au 2 novembre		3 novembre au 1er déc.		2 décembre au 29 déc. 1893.	
		+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+		+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—
Plus grand que 500 000	+	148		127		124		117		96		71		53		97		97		109		86		101		106	
	—		130		114		111		108		100		78		48		88		104		99		90		94		97
— 400 000	+																					3					
	—										1																
— 300 000	+			1																							
	—																										
— 200 000	+							10		35		36		32		20		16		11		26		24		22	
	—				1				12		32		27		37		19		23		9		19		33		18
— 100 000	+	4		3		4		25		33		47		37		25		27		16		24		27		23	
	—				2		6		25		33		31		32		18		14		27		18		20		20
— 90 000	+	1						2		8		13		10		5		12		7		9		7		10	
	—		2		2		2		2								1		1		3		4		3		13
— 80 000	+																										
	—								3		11		16		20		3		1		5		5		2		
— 70 000	+	3		8		14		24		14		13		16		4		4		8		2		6		3	
	—		5		3		18		24		9		15		11		2		5		9		8		2		6
— 60 000	+	1		1		1		1		4		4		5		2		2		1						6	
	—										2		8		5		2		3				1				8
— 50 000	+	3		1		2		4		14		7		9		7		6		9		15		4			
	—		3		6		5		5		14		5		6		6		4		3		11		4		
— 40 000	+	4		13		14		11		4		9		10		11		12		8		10		13		16	
	—		6		9		17		11		6		9		19		3		5		8		3		4		14
— 30 000	+	8		12		18		13		5		6		16		7		1		6		9		5		8	
	—		9		27		16		16		1		6		3		3		2		1		8		1		2
— 20 000	+	5		20		19		6		2		7		7		7		11		11		5		6		5	
	—		9		16		11		10		3		10		12		3		6		9		8		13		3
— 10 000	+	5		13		7		4				5		6		9		13		13		16		13		4	
	—		3		6		7		8		6		8		14		16		8		5		12		14		7
— 9 000	+			1				1						5		8				1						6	
	—				4		1		3		1						1		1		3				3		3
— 8 000	+					1										1		2		1		3		1			
	—		1		2		1				1		2		4		2		1		2				9		
— 7 000	+					1								3		1		6		1		1				1	
	—		1		1		1				1		1		1				4		1		3		2		3
— 6 000	+	1		1												2								2			
	—		2				1		1		1						2		2		4		3		1		5
— 5 000	+					1								1						1		5		3			
	—		1		2		2								2		3		2		2		2		2		
— 4 000	+	1		1												3		4		1				1		4	
	—				2		1		1		1		1		2		6		4		6		2		2		1
— 3 000	+																	1		1		1		7		5	
	—		4		3		4				1				1		6		6		9		12		1		2
— 2 500	+			3						1		1				4		2		3				2		2	
	—				7		3										22		14		2		5		10		6
Nombre total des sections essayées par mois.		187	176	205	207	206	207	218	219	216	224	219	217	220	217	213	206	216	210	208	207	215	214	222	220	221	208

constant, le réseau tend vers un état d'équilibre qui va plutôt en s'améliorant avec le temps.

Avec les câbles recouverts, on peut toujours se demander ce que l'isolant deviendra dans la suite des temps.

L'entretien des canalisations en cuivre nu est évidemment plus coûteux, mais, dans beaucoup de cas, cette dépense supplémentaire est compensée par l'intérêt et l'amortissement de la dépense économisée dans l'établissement du réseau.

En outre. la canalisation en fils nus permet un échauffement notable sans que la canalisation en souffre. Avec les câbles isolés, le débit offre moins d'élasticité, car on peut craindre que l'échauffement des conducteurs n'amène une avarie de l'isolant.

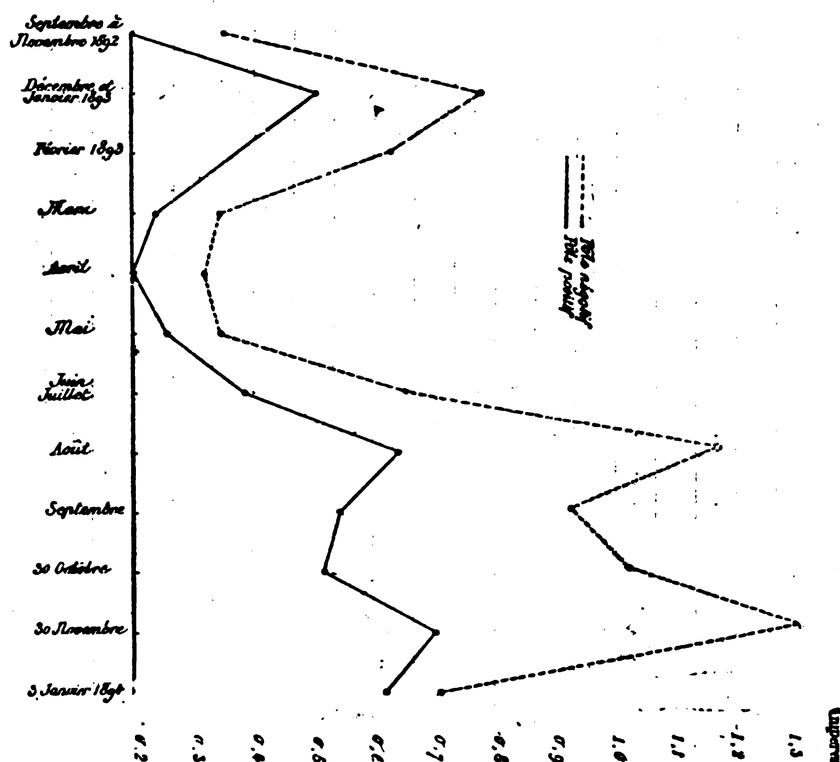


Fig. 3.

Mais il ne faut pas perdre de vue que ces conditions avantageuses supposent une surveillance assidue et intelligente dans l'entretien des canalisations en conducteur nus.

De l'emploi des lampes à haute tension sur les réseaux de distribution, par G. L. Addenbrooke [1].

D'une discussion qui eut lieu il y a quelques années entre l'auteur et M. Crompton il était résulté que les avantages et les inconvénients du système de distribution à courant continu tension élevée (220 volts) comparés à ceux du système à basse tension (110 volts) s'équilibraient à peu près, et que la balance ne pencherait de l'un ou de l'autre côté qu'au cas où une circonstance fortuite viendrait militer en faveur d'un des systèmes.

L'auteur a réétudié la question en partant des éventualités suivantes : 1° adoption d'un nouveau type de lampe ; 2° introduction d'un métal conducteur moins cher que le cuivre ; 3° application d'une lampe à incandescence à haute tension ; 4° emploi d'une lampe plus économique au voltage actuel ; 5° perfec-

(1) Communication faite à l'Institution of Electrical Engineers, le 27 février 1896.

tionnement et diminution de prix des accumulateurs.

Examinant successivement ces différents cas, il fait remarquer, à propos du premier, que les expériences de Tesla, quoique très intéressantes au point de vue scientifique, ne paraissent pas devoir conduire à une solution pratique prochaine.

En ce qui concerne le métal conducteur, l'auteur croit que l'aluminium, dont la conductibilité est de 56 pour 100 de celle du cuivre, a des chances de supplanter ce dernier métal, eu égard à la continuelle et considérable réduction du prix de production. Une réduction de prix sur les conducteurs, et d'autre part, une économie sur l'isolement qui représente dans les dimensions usuelles, les deux tiers du coût total du conducteur, favoriseraient le système à basse tension.

Quant à la lampe à haute tension, depuis l'expiration des brevets Edison-Swan, les fabricants en ont mis de bons types sur le marché. On trouve maintenant des lampes de 16 bougies et même de 8 bougies fonctionnant à 230 volts. Ces lampes entrent de plus en plus dans la pratique, et dans un an ou deux elles seront très employées.

Simultanément avec cette tendance, s'est produit la recherche de lampes à faible dépense spécifique, et l'auteur se demande s'il est préférable d'employer des lampes à 100 volts prenant 2,5 watts par bougie, ou bien des lampes à 200 volts prenant 4 watts par bougie. Il est aujourd'hui facile de répondre à cette question. En réduisant la dépense par bougie dans la proportion de 4 à 2 1/2, des conducteurs d'une capacité donnée transmettraient presque le double de l'énergie à perte égale. L'énergie par elle-même n'est pas très coûteuse, et toute station centrale de quelque importance pourrait fournir deux fois plus d'énergie qu'elle n'en produit actuellement à raison de 15 centimes le kilowatt-heure pour la quantité supplémentaire, Or, en doublant le voltage, nous réduisons les dimensions des conducteurs au quart ; donc pour un réseau employant des lampes à 220 volts consommant 64 à 70 watts par 16 bougies, les conducteurs ne seront pas beaucoup plus gros que moitié de la grosseur des câbles dans le cas d'une distribution à 110 volts avec lampes consommant 2,5 watts par bougie. Comme le coût de la canalisation forme une si importante partie du coût global, et comme d'autre part, l'énergie peut-être produite à très bon compte, l'auteur pense que même dans l'hypothèse de l'existence d'une bonne lampe à 2,5 watts par bougie, il serait encore préférable d'employer des lampes à 220 volts à consommation spécifique presque double.

Suivant les fabricants eux-mêmes, une bonne lampe à 2,5 watts par bougie à 100 volts est encore à trouver, et ce sera probablement très difficile, à moins qu'on puisse garantir une constance absolue du voltage d'alimentation. Quant à la lampe à 220 volts prenant 3,5 à 4 watts par bougie, les fabricants en croient la construction plus facile. L'avantage reste donc à celle-ci à tous les points de vue.

Voyons quelles seraient, dans la pratique des stations centrales, les conséquences de l'emploi du système à haute tension.

On ne peut guère espérer que les lampes à haute tension aient autant de durée que celles à basse tension, et d'autre part elles seraient aussi d'un prix un peu plus élevé que ces dernières. Essayons d'arriver à un résultat numérique.

Si la durée d'une lampe ordinaire de 16 bougies et 100 volts est de 1 200 heures et si la puissance consommée est de 64 watts, l'énergie totale qu'aura dissipée la lampe jusqu'à sa mise hors de service sera de 77 kilowatts, qui à raison de 60 centimes par unité, aura coûté 46,20 francs. Si le prix de la lampe est de 1,50 fr elle coûtera par unité d'énergie consommée 0,02 fr, soit environ 3 pour 100 du prix de l'énergie. Pour une lampe de 8 bougies à 100 volts, durant 800 heures et prenant 36 watts, la consommation totale d'énergie est de 29 kilowatts ; le prix de la lampe par kilowatt consommé est de 0,05 fr, soit environ 8 pour 100 du coût du courant.

Les lampes à 200 et 220 volts dureraient sans doute moins longtemps que les autres et coûteraient un peu plus cher; mais on ne peut se tromper qu'à leur désavantage en admettant que le prix des renouvellements dans le cas des lampes à haute tension soit le double de celui pour les lampes à basse tension. Le remplacement des lampes usées figurerait alors sur la note du consommateur pour 6 pour 100 dans le cas des lampes de 16 bougies, et pour 16 pour 100 dans celui des lampes de 8 bougies. Supposons que le nombre de lampes de 16 bougies par rapport à celui de 8 bougies installées soit comme 1 : 2 ; il suffirait alors d'une réduction de 6 pour 100 sur le prix de l'énergie pour racheter le surcroît de prix des lampes à haute tension ; à 60 centimes le kilowatt, cette réduction ne serait que de 3,5 centimes.

Ces chiffres ne sont qu'approximatifs, mais ils montrent suffisamment que l'emploi des lampes à haute tension n'est pas d'un coût prohibitif, et que l'accroissement de prix de revient est peu appréciable vis-à-vis des avantages généraux dont nous allons nous occuper maintenant.

Influence de l'emploi des lampes à haute tension sur la distribution. — On peut dire que les avantages que présente la distribution à haute tension croissent comme le cube de la tension jusqu'à 200 volts environ. Car, supposons que toutes les lampes alimentées par le réseau exigent 200 volts au lieu des 100 volts habituels. En premier lieu, comme le voltage est doublé, les conducteurs peuvent s'étendre à une distance double avec la même densité de courant à perte égale ; mais au voltage double le même courant dans un conducteur donné fournira le double de l'énergie et pourra alimenter deux fois autant de lampes. Donc, sans augmenter la section du conducteur, nous pouvons assurer avec les mêmes conducteurs un volume d'éclairage quadruple, ou fournir le même éclairage à une distance quadruple. De plus, les conducteurs ayant quadruplé de longueur, peuvent desservir une région 16 fois plus étendue en surface. Sans aller aussi loin, on peut dire avec certitude que la surface couverte par le réseau, dans de meilleures conditions d'alimentation, serait avec 200 volts, neuf à dix fois plus grande qu'avec 100 volts.

On sait, qu'à présent, la chute de voltage dans les conducteurs et les branchements est souvent trop grande et donne lieu à un éclairage irrégulier, dont les trop fréquentes variations sont difficiles à éviter. Si le voltage était porté à 200 volts, on pourrait tripler la longueur des conducteurs et malgré cela réduire la chute de voltage à une quantité négligeable ; par le fait même, le nombre de feeders nécessaire se trouverait également réduit. Les appareils, commutateurs, etc. n'auraient besoin d'aucune transformation, et la tension resterait au-dessous des limites prescrites par les autorités.

On a généralement reconnu que dans le système à trois fils à 110 volts, il n'est pas économique ni pratique de distribuer le courant dans un rayon supérieur à 1 000 ou 1 200 mètres, excepté dans des circonstances spéciales. L'aire économiquement desservie est donc d'environ 5,5 kilomètres carrés.

Or, suivant les données statistiques, le centre des grandes villes compte environ 11 500 habitants par kilomètre carré, quoique la moyenne pour une ville entière n'excède guère 6 000. Une station centrale avec système à trois fils à 110 volts peut donc desservir économiquement environ 60 000 à 70 000 habitants au centre des grandes villes, et environ 35 000 dans les quartiers excentriques et dans les villes de province. Si l'on voulait donc éclairer Londres, avec sa population de 4 millions, il faudrait 70 ou 80 stations centrales, sans même tenir compte de la banlieue.

Si, maintenant, on double le voltage, les conditions changent totalement. Les feeders peuvent être étendus quatre fois plus loin, et l'aire desservie devient 16 fois plus grande. Mais sans aller jusque là, on peut facilement admettre que le rayon de service de la station peut être étendu à 9 km, et atteindrait dans ces conditions une surface 11 fois plus grande,

de sorte que tout Londres pourrait être desservi par six ou sept stations centrales, nombre comparable à celui des usines à gaz existantes.

Pour l'alimentation de villes de l'importance de Birmingham, Liverpool, Glasgow et Manchester, deux ou au plus trois stations seraient suffisantes.

L'auteur calcule ensuite le capital à engager dans un réseau de distribution, alimenté à 220 volts, en prenant pour base une densité de courant dans les feeders de 4 ampères par centimètre carré environ, correspondant à une chute de potentiel inférieure à 5 pour 100.

Sans le suivre dans les détails du calcul, notons-en les résultats. Il trouve que par lampe allumée de 16 bougies, le cuivre coûterait 38 fr, et par lampe installée, 19 fr. A raison de 6 pour 100 d'intérêt et d'amortissement annuels, cela représenterait une dépense d'environ 3,5 centimes par kilowatt-heure vendu. L'isolement et la mise en place des câbles armés sont calculés à 1 380 fr par kilowatt de débit maximum. Au total, le réseau de distribution représente une dépense de 15 centimes par kilowatt-heure débité.

Emploi des accumulateurs. — L'auteur qui, il y a quelques années, n'avait pas grande confiance dans l'avenir des accumulateurs employés dans les stations centrales, s'exprime aujourd'hui plus favorablement à leur endroit. Il constate que depuis trois ans, ces appareils ont été considérablement améliorés.

Pour une batterie capable de décharger un kilowatt pendant trois heures, le prix serait de 325 francs, et en comptant tous les frais d'installation, bâtiment, connections, instruments, le prix ne s'élèverait qu'à 475 francs par kilowatt, et l'on trouve aujourd'hui des fabricants qui se chargent de l'entretien des batteries à raison de 6 pour 100 par an du prix d'achat.

Du moment que les batteries d'accumulateurs peuvent être déchargées en trois heures, durée de la pleine charge dans les stations centrales, un kilowatt d'accumulateurs devient équivalent à un kilowatt de machines. Quand il s'agit d'augmenter la puissance d'une station centrale, on est donc conduit à se demander, s'il faut ajouter des machines et des chaudières, où s'il est préférable d'acheter des accumulateurs. Or, comme nous l'avons dit, la batterie d'accumulateurs complètement installée, y compris un bâtiment spécial, coûterait 475 francs par kilowatt ; et l'on peut admettre que les chaudières, machines, tuyauterie, fondations, etc. pour un kilowatt reviendraient bien à ce prix. Quant à l'entretien de 6 pour cent, il n'excède certainement pas de beaucoup celui de la machinerie et les chaudières. Il y a donc à peu près équivalence entre les deux moyens d'agrandissement d'une station.

Il est inutile d'insister sur le prix de revient extrêmement réduit de l'énergie produite en charge continue. Considérant, en outre, les avantages des accumulateurs, en ce qui concerne la régulation, la disponibilité d'une réserve en cas d'accident, la réduction de la main d'œuvre, etc., il est peut-être rationnel d'agrandir les stations, en leur adjoignant des accumulateurs, au besoin jusqu'à la proportion des deux tiers ou des trois quarts de la puissance totale.

Aux prix indiqués précédemment, on trouve que le plomb dans les accumulateurs est vendu à raison de 1 000 fr la tonne. Or, comme le plomb en lingots coûte moins de 300 fr la tonne, il ne semble pas déraisonnable de penser que le prix des accumulateurs pourra descendre un jour peut être, jusqu'à 600 fr la tonne, tout en présentant meilleure capacité et plus grande durée. M. Epstein constate par exemple, que depuis 1890, la réduction de prix a été de 25 pour 100, et les durées de décharge ont été réduites en même temps de 10 heures à 3 heures. Quant à l'encombrement, si on compare les accumulateurs à capacité d'éclairage égal au gaz, on trouve que les gazomètres sont 70 fois plus encombrants.

Les batteries d'accumulateurs sont habituellement installées dans les stations centrales, où elles sont soumises à des variations de potentiel très grandes qui réduisent leur

rendement de 10 à 15 pour 100. Avec des lampes à 220 volts, comme chaque feeder dessert un district très étendu, il serait plus économique de placer la batterie au centre de distribution à l'extrémité du feeder. Il en résulterait un abaissement notable du courant maximum à transmettre, ce qui permettrait une nouvelle économie de cuivre. De plus, à un feeder une fois posé, on peut toujours adjoindre des accumulateurs quand l'éclairage qu'il alimente se développe, et éviter les fouilles et les travaux dans les rues, ce qui est toujours à considérer. Enfin, il faut remarquer qu'à 220 volts, la mise en ou hors circuit d'un élément ne représente qu'une variation de voltage de 1 pour 100, au lieu de 2 pour 100 dans le cas de 110 volts.

Pour l'éclairage à arc, une distribution à trois fils à 220 volts offre cet avantage de permettre le groupement en série de neuf lampes à arc. La chute de voltage étant moindre, il est aussi plus aisé de desservir les moteurs sans troubler l'éclairage, et cette considération est très importante, car il faut prévoir que dans l'avenir la même station centrale devra pouvoir alimenter simultanément l'éclairage et les moteurs, y compris ceux des tramways électriques.

La majeure partie de l'éclairage pouvant être assurée par les accumulateurs chargés pendant la nuit, et les tramways et autres moteurs occupant la station le jour, il est moins que jamais défendu de croire que l'électricité sera bientôt à la portée des pauvres comme des riches.

Et cette prévision, émise par un ex-partisan du courant alternatif, lui fait penser que dans la lutte entre ce dernier et le courant continu c'est la tortue qui l'emportera sur le lièvre.

Que ce soit l'alternatif ou le continu qui l'emporte, la fin de la lutte nous semble à souhaiter, car il sera de toute façon préférable de n'employer dans toutes les usines placées dans des situations peu différentes qu'un seul et même système.

A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Société française de Physique

Séance du 1er mai.

La séance débute par une communication de M. *H. Abraham* sur « la compensation des forces directrices et la sensibilité du galvanomètre à cadre mobile ».

L'auteur commence par rappeler que l'on adopte généralement aujourd'hui, comme mesure de la sensibilité d'un galvanomètre à miroir, le nombre de divisions qui exprime la déviation produite par un courant de 1 microampère, l'échelle étant supposée placée à une distance du miroir égale à 2 000 divisions et la déviation étant ramenée à une résistance galvanométrique de 1 ohm et une durée d'oscillation du système mobile égale à 10 secondes. De cette définition, il résulte que si α est le nombre de divisions exprimant la déviation produite par un courant de 1 microampère traversant un galvanomètre de résistance R ohms et dont ladurée d'oscillation est τ secondes, la sensibilité de cet appareil sera exprimée pare

$$\left(\frac{10}{\tau}\right)^2 \times \frac{1}{\sqrt{R}}.$$

Si l'on fait ce calcul pour les divers types de galvanomètres courants, on trouve des nombres voisins, aussi bien pour les galvanomètres à aimant mobile que pour ceux à cadre mobile ; ainsi pour les galvanomètres Thomson, ces nombres varient de 20 à 30 et pour un galvanomètre d'Arsonval-Carpentier, l'auteur a trouvé 28.

En prenant certaines précautions on peut augmenter beaucoup la sensibilité des galvanomètres à aimant mobile ; l'auteur cite un galvanomètre construit par M. P. Weiss, d'après les principes exposés, il y a quelques mois, dans cette revue [1] qui donne sans difficulté une sensibilité voisine de 10 000 et

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 110, 19 octobre 1895.

pouvant atteindre 21 000 si l'on diminue les dimensions du système mobile. M. Abraham s'est demandé s'il n'était pas possible d'obtenir une sensibilité du même ordre avec les galvanomètres à cadre mobile.

Dans ces derniers instruments, la sensibilité effective dépend de trois éléments : le champ magnétique, le cadre mobile et la suspension bifilaire. En augmentant le champ magnétique et en donnant au cadre des dimensions très petites, on peut obtenir, comme l'a constaté l'auteur, des appareils ayant une sensibilité voisine de 21 000. Mais on ne peut augmenter outre mesure l'intensité du champ, car le magnétisme des fils de cuivre du commerce devient bientôt gênant et, d'un autre côté, il est pratiquement difficile de réaliser des cadres de très petites dimensions. Il faut donc réduire dans une grande proportion le couple directeur.

Mais tandis que cette condition est assez facile à réaliser dans les galvanomètres à aimants mobiles, en augmentant l'astaticité du système ou en diminuant l'intensité du champ directeur, sa réalisation dans les galvanomètres à cadre mobile présente, au contraire, de très grandes difficultés, car on ne peut indéfiniment augmenter la longueur et diminuer l'épaisseur de la suspension (fil tendu, ressort en spirale, ressort en boudin), et l'on est donc conduit à diminuer le couple directeur en *compensant* ce couple.

En général, pour compenser un couple, on lui en adjoint un autre dont l'action directrice est soustractive. Cela veut dire que, si l'on vient à éloigner l'équipage mobile de sa position d'équilibre, le couple auxiliaire doit tendre à l'en éloigner davantage, alors que le couple primitif tendait à l'en rapprocher. En d'autres termes, le nouveau système de force, s'il existait seul, produirait un état d'équilibre, mais d'équilibre instable et dont l'instabilité doit être inférieure, mais à peine, à la stabilité de l'équilibre primitif.

Pour préciser ces notions par un exemple, M. Abraham fait osciller une lame élastique verticale portant à chaque extrémité une sphère pesante et fixée à peu près en son milieu au moyen d'une pince. Lorsque la portion de la lame située au-dessous de la pince est écartée de sa position d'équilibre l'action de la pesanteur sur la sphère pesante s'ajoute aux forces élastiques de déformation pour la ramener dans cette position ; pour la portion supérieure, au contraire le poids de la sphère qui y est fixée tend à augmentée l'écart, dès que la lame est écartée de sa position d'équilibre ; on constate nettement que la durée d'oscillation de la région supérieure de la lame est plus grande que celle de la région inférieure, et qu'elle augmente lorsqu'on abaisse de plus en plus le point d'attache de la lame jusqu'à ce que, l'action de la pesanteur devenant prépondérante, la lame n'oscille plus et reste courbée d'un seul côté. Si, quand il en est ainsi, on incline le support de la lame autour d'un axe horizontal perpendiculaire au plan de cette lame, de manière à porter en avant le centre de gravité de la portion supérieure, on peut, pour une inclinaison convenable, faire de nouveau osciller cette portion.

Dans cet exemple les forces élastiques de déformation sont compensées par le poids de la sphère ; dans le cas particulier du galvanomètre le poids du cadre mobile peut être utilisé pour compenser la torsion.

Pour cela, on porte le centre de gravité du cadre un peut en avant de son axe de rotation, soit par construction, soit à l'aide d'une surcharge quand on veut tirer parti d'un instrument déjà construit. On penche ensuite le galvanomètre en arrière et l'on voit les oscillations se produire de plus en plus lentement à mesure que la compensation se produit. Si l'on dépassait la compensation complète, l'équilibre deviendrait instable.

M. Abraham a appliqué ces remarques à un galvanomètre Deprez-d'Arsonval du modèle Carpentier. En avant et contre le cadre on peut fixer une petite masse. En réglant l'inclinaison du galvanomètre au moyen de vis calantes, on fait passer la durée d'oscillation d'une à dix secondes. La sensibilité effective est alors centuplée et atteint celle que pourrait

donner un galvanomètre Thomson d'égale résistance.

M. *Hurmuzescu* fait ensuite une communication sur une « nouvelle détermination du rapport v entre les unités électrostatiques et électromagnétiques ». Devant consacrer très prochainement un article à l'exposé de ce travail remarquable, choisi par l'auteur comme sujet de thèse, nous nous bornerons pour l'instant, à indiquer le résultat des mesures, qui est

$$v = 3{,}001 \times 10^{10}$$

à un millième près.

J. B.

Société de Physique de Londres

Séance du 24 avril

M, *Appleyard* communique une note sur « l'ajustement du pont de Kelvin ».

Il rappelle que dans une des dernières séances, M. Reeves a décrit une modification du pont de Kelvin qui exige un double ajustement (¹). Il propose l'emploi de deux fils tendus parallèlement et possédant chacun un contact glissant en communication avec le galvanomètre, ces contacts étant reliés mécaniquement de telle sorte que le rapport des segments de lien des fils soit toujours égal à celui des segments de l'autre fil ; dans ces conditions un seul ajustement est nécessaire pour équilibrer le pont.

M. Reeves fait observer que l'objet de sa modification qu'il a apportée au pont de Kelvin est de permettre l'emploi des boîtes de résistances que l'on possède dans tout laboratoire et de supprimer précisément l'emploi de fils calibrés.

M. *J. Frith* fait ensuite une communication sur « l'effet de la forme des ondes sur l'arc à courants alternatifs ».

Il a constaté qu'un arc électrique modifie la forme de l'onde dans un circuit où on l'intercale. Ses expériences étaient faites avec une génératrice dont la courbe de force électromotrice à circuit ouvert présentait des sommets très aigus ; lorsqu'on fermait le circuit de cette génératrice et qu'on y intercalait un arc, les sommets aigus étaient remplacés par des lignes de grand rayon de courbure.

L'auteur fait observer à ce propos que cet effet de l'intercalation de l'arc est des plus avantageux, car, comme on l'a maintes fois observé, la puissance lumineuse d'un arc à courant alternatif est d'autant plus grande que les sommets de la courbe de force électromotrice sont moins aigus. L'auteur ajoute qu'en plaçant en série avec l'arc une résistance de plus en plus grande la déformation de l'onde par la présence de cet arc est de moins en moins accentuée.

A propos de cette communication, le professeur S. P. Thomson fait remarquer que l'armature de la génératrice dont s'est servi l'auteur renfermait une très grande quantité de fer et que sa self-induction était considérable. Aussi demande-t-il si cette self-induction n'avait pas une influence prépondérante et si les résultats obtenus par M. Frith seraient encore exacts pour un arc intercalé dans la canalisation d'une station centrale ayant un nombre plus ou moins grand de génératrices en parallèle.

De son côté, M. Tremlett Carter demande si l'auteur a fait des expériences en remplaçant l'arc par une résistance absorbant le même nombre de volts et s'il a comparé les courbes qu'on obtiendrait dans ces conditions avec celles qu'il a obtenues avec un arc.

L'auteur réplique que l'effet de la self-induction de la machine était manifeste sur les courbes, que les courbes de courant n'ont pas été prises avec l'arc relié directement à la génératrice, que le courant et la self-induction étaient les mêmes pour toutes les courbes, le voltage de la machine étant augmenté en augmentant le champ magnétique quand des résistances étaient placées en série avec

(¹) Voir l'*Éclairage Électrique*, t. VI, p. 603 ; 28 mars 1896.

l'arc. Il ajoute que si des machines spéciales sont employées pour alimenter des arcs, ainsi qu'on le fait ordinairement, et que si la charge de ces machines est formée uniquement par des arcs, ceux-ci altèrent la forme de l'onde, tandis que si l'on remplace les arcs par des résistances la forme de l'onde reste celle que l'on a avec la machine en circuit ouvert.

Société Internationale des Electriciens

Exposition d'électricité appliquée aux usages domestiques, médicaux et scientifiques 2, 3, 4 et 5 mai 1896.

Le but de cette exposition était surtout de montrer au public en général et aux architectes en particulier tout le parti qu'on peut tirer actuellement des applications de l'électricité à la décoration des appartements. Il faut féliciter la Société des Electriciens d'avoir organisé cette exposition et du soin qu'elle y a apporté. Tous les secteurs de la ville de Paris et les grands industriels lui ont prêté leur concours. M. Clémançon avait dirigé la décoration et l'aménagement qui étaient très bien compris. Le succès a dépassé l'attente des organisateurs et les salles étaient trop petites pour contenir tous les visiteurs.

Ce n'est pas que les nouveautés aient été en bien grand nombre ; la plupart des objets exposés ont été décrits dans nos colonnes ; mais pour le public auquel s'adressait cette exposition, les dispositions artistiques que nos constructeurs ont su donner aux lustres et appliques d'éclairage électrique et les appareils de chauffage électrique étaient presque une révélation.

Aux débuts de l'éclairage à incandescence, les électriciens eux-mêmes pensaient qu'on ne pourrait jamais tirer un parti artistique des petites ampoules lumineuses. Elles se prêtent au contraire fort bien à des effets très curieux et très artistiques, car elles peuvent brûler dans une position quelconque, ne demande aucune alimentation d'oxygène et dégagent peu de chaleur et aucune fumée, ce qui permet de les enfermer dans des enveloppes très décoratives même très délicates ; les ampoules elles mêmes peuvent être faites d'une forme quelconque et des lampes d'intensités lumineuses très différentes peuvent être employées. Dans les mains d'artistes et de constructeurs intelligents, c'est plus qu'il n'en faut pour obtenir des effets remarquables.

Les expositions de MM. *Bastide, Castoul et Cie*, lustres de divers styles et lampe de salle à manger, *Beau et Bertrand-Taillet*, lustres, appliques, appareils d'éclairage de luxe très remarquables, *Durand et Guinier*, lustres et lampes portatives, *Oppenheimer frères*, appareils d'éclairage électrique de fantaisie, *E. Potron*, appareils d'éclairage électrique, plafonniers, appliques, lampes portatives, *E. Soleau*, lustres et bronzes d'éclairage, prouvent tout le parti que l'industrie française a su tirer de ces facilités d'emploi.

Il est impossible de décrire ces expositions sans reproduire par la gravure les objets eux-mêmes. Nous publierons prochainement un article spécial à ce sujet.

Le chauffage et surtout la cuisine électrique attiraient également beaucoup l'attention des visiteurs. Les beefsteaks et côtelettes grillées à l'électricité étaient un appât très suffisant car leur goût est excellent. Les appareils de chauffage et de cuisine électriques ne peuvent évidemment pas encore lutter avec le charbon ou le gaz, mais dans nombre de cas, ils peuvent rendre de grands services par suite de la disposition artistique qu'on peut leur donner, de la propreté absolue qu'ils permettent d'obtenir et de la simplicité de leur manœuvre. On peut ainsi les introduire dans les salons les plus coquets. Les calorifères électriques, les théières, les chauffe-plats, etc., prendront certainement un grand développement pour ces applications particulières où le prix de revient est secondaire.

La salle du rez-de-chaussée, dans laquelle sont reproduits un salon, une salle à manger un cabinet de toilette et une cuisine permettent de se rendre compte d'un seul coup d'œil des effets qu'on peut obtenir.

A côté de ces applications, les constructeurs avaient exposés des lampes à incandescence et à arc, des interrupteurs et autres appareils connus qu'il suffit de mentionner; quelques-uns d'entre eux qui présentent des dispositions particulières intéressantes seront décrits prochainement dans le journal.

Les moteurs électriques étaient faiblement représentés; les secteurs ont pourtant grand intérêt à en propager l'emploi. Un tour électrique et un ventilateur étaient à peu près les seuls représentants de cette application. On aurait pu avantageusement multiplier le nombre des ventilateurs.

Parmi les appareils à l'usage des stations centrales, nous signalerons les ampèremètres voltmètres et wattmètres de M. Jules Richard. Ces appareils, qui sont construits pour des courants très puissants, sont munis de cadrans de grand diamètre dont les indications sont visibles à distance; ces cadrans peuvent être transparents. Jusqu'à présent les stations centrales devaient s'approvisionner de ces instruments à l'étranger; c'est avec plaisir que nous voyons un de nos plus sympatiques constructeurs entreprendre cette fabrication.

La téléphonie est représentée par MM. Mildé et Cie qui exposent différents modèles de postes téléphoniques de réseau et des appareils domestiques d'aspect très artistique, par M. Bénard, par la Société Industrielle des Téléphones, et par M. Pasquet qui exposait des appareils téléphoniques domestiques et pour chemin de fer par fil unique sans translation.

Dans un même ordre d'idées on peut citer les appareils automatiques avertisseurs et les horloges électriques de MM. Gosse « *La Sentinelle* », Victor Reclus, J. Blondeau.

M. Laffargne résume dans un tableau l'ensemble des cours populaires d'électricité industriels établis à la Fédération des chauffeurs mécaniciens, et les résultats obtenus; M. G. Roux expose un tableau montrant le développement au Bureau de Contrôle des installations électriques créé par la Chambre Syndicale des Industries électriques, il y a 3 ans; ses opérations, au bout de la première année comprenaient la vérification de 15 000 lampes environ; en 1896, le nombre des lampes contrôlées s'élevait à près de 50 000. C'est un résultat auquel on ne peut qu'applaudir.

Nous avons remarqué également deux objets d'un intérêt purement historique: la première lampe à incandescence construite en France par la Sociétés Edison, et un *électromètre d'intensité (!)* construit par M. Trouvé qui exposait également ses fontaines lumineuses.

La partie médicale comprenait surtout les appareils à haute fréquence de d'Arsonval, Tesla et Elihu Thomson, exposés par M. Bergonié, Ducretet, Foveau de Courmelles, Gaiffe et Cie.

La radiographie était également représentée, comme il fallait s'y attendre, et des expériences faites dans les salles attiraient beaucoup l'attention.

En résumé, si les nouveautés n'étaient pas très nombreuses, l'exposition était néanmoins très intéressante, et le but des organisateurs a été pleinement atteint.

G. P.

Une modification à la méthode de Mascart pour l'usage de l'électromètre à quadrants, par Riccardo Arno (¹).

Si l'on désigne par V le potentiel de l'aiguille d'un électromètre à quadrants, par V_1 et V_2 les potentiels des deux paires de quadrants, on a, comme on le sait, pour l'expression de la déviation

$$\delta = h(V_2 - V_1)\left(V - \frac{V_1 + V_2}{2}\right),$$

h étant une constante.

Si, comme dans la méthode de M. Mascart, on relie les deux paires de quadrants aux deux pôles d'une pile dont le point de symétrie électrique est à la terre, la relation précédente se réduit à

$$\delta = hV,$$

(¹) *Elettricista*.

et l'instrument donne le potentiel par rapport au sol du point relié à l'aiguille. Cette disposition est très commode dans un grand nombre de cas, mais elle exige deux lectures pour la mesure de la différence de potentiel entre deux points.

Pour éviter cet inconvénient et avoir par une seule lecture la différence de potentiel entre deux points A et B il suffit, comme le propose M. Arno, de relier A à l'aiguille et B au point de symétrie de la pile. En effet, on a alors

$$\delta = k\left(V_A - \frac{V_1 + V_2}{2}\right),$$

ou

$$\delta = k\left(V_A - \frac{V_1 - V_B + V_2 + V_B}{2}\right).$$

Mais puisque

$$V_1 - V_B = V_B - V_2,$$

il vient

$$\delta = k\left(V_A - \frac{V_B - V_2 + V_B + V_2}{2}\right),$$

ou

$$\delta = k\,(V_A - V_B).$$

Sur une action électrochimique des rayons de Roentgen sur le bromure d'argent, par Frantz Streinitz (1).

On sait que sous l'action de la lumière la conductibilité électrique des sels haloïdes d'argent varie, et que, si l'on fait tomber un faisceau lumineux sur une plaque couverte de bromure d'argent et plongée dans une solution de bromure de potassium, il s'établit une différence de potentiel entre cette plaque et une autre plongée dans la même solution. L'auteur a cherché si les rayons de Roentgen jouissent de propriétés analogues.

Pour étudier la variation de conductibilité, M. Streinitz prenait un fil d'argent enroulé en double sur un tube de verre, le recouvrait de chlorure d'argent en le plongeant dans une solution ammoniacale de ce sel, le plaçait dans une boîte opaque et enfin le soumettait à l'action d'un tube de Hittorf après avoir relié ses extrémités à un galvanomètre Thomson-Carpentier très sensible. La déviation du galvanomètre variait quand le tube était en activité et ces variations doivent être attribuées à l'action inductive des décharges sur le circuit galvanométrique. Mais quand on arrêtait le fonctionnement du tube on observait une déviation galvanométrique beaucoup plus grande que celle que l'on avait avant l'action des rayons X, ce qui montre que ces rayons ont pour effet d'augmenter la conductibilité du chlorure d'argent.

L'étude des forces électromotrices a également donné des résultats positifs. Une petite toile de platine de 2 cm de côté était recouverte électrolytiquement d'une couche de bromure d'argent, puis plongée avec une autre électrode dans des solutions étendues de bromure de potassium et les deux électrodes étaient reliées aux deux paires de quadrants d'un électromètre. Une bougie placée à 45 cm de la plaque recouverte de bromure produisit au bout d'une demi heure une diminution de la force électromotrice de 0,022 volt. Sous l'influence des rayons de Roentgen émis par un tube enfermé dans une boîte opaque, cette variation atteignait 0,017 en 45 minutes avec une petite bobine d'induction, et 0,019 en 45 minutes avec une plus grande bobine.

(1) *Wiener Berichte*, 6 février 1896.

BIBLIOGRAPHIE

Les transformateurs d'énergie électrique, par M. P. Dupuy. — *J. Fritsch*, éditeur, Paris. Prix, 7 fr.

Chaque appareil électrique a son histoire bien établie, dit l'auteur dans sa préface. Les transformateurs ne jouissent pas de la même faveur, c'est pourquoi il lui a paru naturel d'essayer de tenter de combler cette lacune. C'est là un but louable, fortement même, et il nous faudra toute l'indulgence que l'auteur nous demande et que nous lui accordons volontiers, pour trouver de temps à autre, dans son livre, un passage réellement louable. Et il est d'autant plus ennuyeux de ne pouvoir

louer le tout qu'on sent très bien que l'auteur a voulu bien faire, qu'il a puisé généralement ses renseignements aux bonnes sources ; seuls le temps et les bons conseils paraissent lui avoir fait défaut.

C'est pour ces causes que quelques auteurs manquent de clarté, qu'ils acceptent certains racontars sur lesquels ils se croient bien renseignés et qu'ils arrivent à dire presque des énormités qui font perdre la confiance du lecteur, aussi indulgent qu'il puisse être.

Disons néanmoins que la coordination du livre est loin d'être mauvaise. L'ouvrage est divisé en trois parties :

Dans la première, l'auteur s'occupe des transformateurs à courant alternatif : théories, mesures expérimentales, description des principaux types, stations centrales à courants alternatifs.

La seconde, beaucoup moins importante, traite des transformateurs à courants polyphasés, transformateurs polymorphiques et à courant continu.

Enfin la troisième ne doit évidemment de figurer dans ce livre que grâce à l'appellation heureuse de transformateurs à action différée que M. Hospitalier a donnée aux accumulateurs. L'auteur y décrit les principaux types d'accumulateurs et leurs applications industrielles.

Cette dernière partie sans être parfaite (à signaler en particulier des courbes de décharge par trop bizarres) est de beaucoup préférable aux deux autres ; elle n'a malheureusement, je le répète, que le tort d'être un peu en dehors du sujet.

En attendant que quelques nouveaux auteurs essayent à nouveau de combler la lacune de plus haut, le livre de M. Dupuy est le seul qui existe en français actuellement, et à ce titre je le recommanderai aux personnes qui, sachant lire entre ligne, ne s'arrêtent pas trop au texte ; ils y trouveront des références utiles qui leur permettront plus facilement de remonter à la source si besoin est.

F. Guilbert.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Aberdeen (Angleterre). — Éclairage. — La municipalité de cette ville, prévoyant l'insuffisance prochaine de la station électrique, avait chargé un ingénieur d'un devis d'extension.

D'après le rapport de cet ingénieur, l'usine actuelle pourrait recevoir un moteur additionnel de 300 chevaux qui actionnerait de nouvelles dynamos, lesquelles, avec celles déjà en service, pourraient alimenter 11 600 lampes.

Or, sur 17 500 lampes installées, environ 60 pour 100 sont allumées en même temps pendant l'hiver. De plus, les autorités maritimes viennent d'adresser une requête ayant pour but de réclamer l'éclairage électrique du port. Aussi la municipalité d'Aberdeen, tout en acceptant le moteur de 300 chevaux pour l'usine actuelle, a en outre décidé de construire une autre station centrale qui alimenterait 4 900 lampes et fournirait aussi l'éclairage du port. Le coût total des travaux d'agrandissements, y compris la canalisation, s'élèverait à 477 850 fr.

Aubonne (Suisse). — Éclairage et traction. — Depuis quelque temps déjà, l'éclairage électrique est installé à Aubonne. Un barrage construit à environ 3 km de la ville, à 200 m en amont de la passerelle sur l'Aubonne, fournit l'eau nécessaire pour la mise en marche des turbines.

Ce barrage est entièrement construit en blocs de granit, recueillis tout près de là, dans le ravin de la Sendoleyre, et barre la rivière sur toute sa largeur. De ce point, situé à l'altitude de 553 m, part la conduite ; sur une longueur de 300 m, où le terrain ne se prêtait pas à une canalisation souterraine, on a dû se contenter d'une conduite en bois ; sur le reste du parcours c'est un caniveau cimenté. Cette conduite suit le sentier du camp de Bière pour arriver à l'extrémité de la colline de Rochette, où elle aboutit à une chambre à eau (altitude 547 m). De cette chambre à eau descendent, d'un côté, la conduite sous pression en tôle d'acier de 60 cm de diamètre et, de l'autre, une double conduite en ciment servant de déversoir au trop plein.

A l'usine, un vaste hall, de 17 m de longueur et 10 m de largeur, abrite 3 turbines de 100 chevaux chacune. Une turbine et sa dynamo actionneront un tramway électrique ; le deuxième groupe ali-

mente le réseau d'éclairage actuellement en pleine activité ; le troisième groupe servira de réserve ; une place est encore réservée pour une turbine et et sa dynamo.

De cette usine part une ligne servant à l'éclairage d'Aubonne ; la tension sur ces fils est de 3000 volts. Cette ligne aboutit à une sous-station installée dans le château d'Aubonne, où la tension est réduite à 240 volts. Trois conducteurs principaux, dérivant de cette station, assurent la distribution en ville.

Une deuxième ligne part de l'autre côté et se dirige sur Bière, qui possède un mode de distribution analogue.

L'éclairage public d'Aubonne est réalisé au moyen de lampes à incandescence de 32 bougies ; le public en est particulièrement satisfait, car il réalise une réelle amélioration sur l'ancien mode d'éclairage. Cette installation a été menée à bonne fin, grâce au concours de M. Pallaz, ingénieur, et à l'activité déployée par la Société électrique aubonnoise.

Berlin. — *Traction.* — Tandis que nos édiles discutent sur un projet de métropolitain mort-né, les Berlinois agissent. La construction et l'exploitation d'une ligne électrique aérienne entre la Warschauerstrasse et la Nollendorfplatz avec embranchement desservant la gare de Potsdam, viennent d'être concédées à la maison Siemens et Halske par application de la loi des petits chemins de fer du 28 juillet 1892.

La concession est de 90 ans et les travaux doivent être achevés dans le délai de deux ans après approbation des projets de détail qui doivent être présentés au plus tard 18 mois après la date de concession. L'inobservation de ces délais donnerait lieu pour le concessionnaire à une amende dont le montant serait fixé par le Ministre des Travaux Publics et pourrait atteindre 50000 marks. La même mesure coercitive s'applique au cas d'interruption de l'exploitation sans raison sérieuse.

La vitesse d'exploitation ne doit pas dépasser 50 km à l'heure, les autorités se réservent le droit de fixer les vitesses admissibles sur chaque point. La tarification est laissée au concessionnaire pendant une période de 7 années. Enfin toute une série de prescriptions sont édictées pour que l'exploitation de la ligne n'apporte aucune perturbation dans les services télégraphiques et téléphoniques de la capitale. La hauteur libre minimum à laisser sous le viaduc est fixée à 4,65 m.

Les voitures devront être chauffées l'hiver et la largeur à affecter à chaque place est fixée à 0,49 m au minimum.

Bristol (*Angleterre*). — *Éclairage.* — A la suite d'une diminution importante du prix de vente de l'énergie électrique destinée à l'éclairage, le nombre des lampes alimentées par la station centrale de cette ville a passé rapidement de 17420 à 28210. Cette augmentation a nécessité l'extension de l'usine centrale, mais la compagnie prévoit que dès la fin de 1896, les emprunts nécessités par cette extension pourront être remboursés sur les recettes. Elle prépare dès maintenant un projet d'agrandissement permettant d'alimenter 76000 lampes.

Bâle (*Suisse*). — *Traction.* — A la suite des excellents résultats qu'ont donnés les tramways électriques de la ville pendant un an d'expérience, la municipalité de Bâle vient de voter une somme de 1750000 francs qui sera consacrée à remplacer les tramways à traction animale encore existants par des tramways électriques et à créer de nouvelles lignes. Le système de distribution généralement adopté est celui par fil aérien, système qui, avant l'établissement des premiers tramways ; avait été soumis à l'approbation des habitants.

Baltimore et Washington (*États-Unis*). — *Traction.* — On vient de commencer les importants travaux de la ligne de tramways électriques qui doit réunir ces deux villes. La locomotive électrique pourra remorquer les wagons avec une vitesse de 96 kilomètres à l'heure. Le courant sera fourni par deux stations centrales dont une près Baltimore à environ 16 kilomètres du point terminus de la ligne et l'autre à la même distance du point terminus près Washington.

Brighton (*Angleterre*). — *Éclairage.* — Cette ville nous montre un nouvel exemple de l'augmentation rapide des abonnés à l'éclairage électrique en Angleterre. Le nombre des abonnés qui n'était que de 872 à la fin de 1895, s'est accru de 269 pendant ces trois derniers mois. Aussi la municipalité de la ville n'a-t-elle pas hésité à voter la somme de 691625 fr pour travaux d'agrandissement.

Bruxelles. — *Traction.* — La Société des tramways va avoir recours à la traction électrique pour ses lignes Guillemins-Coronmeuse et Théâtre-

Bonne-Femme, les deux principales, ainsi que pour la nouvelle ligne qui fera le service, par le centre de la ville, des Guillemins à Vivegnis. Le train à vapeur Jemeppe-Liège, place Cockerill, va également adopter le mode de traction électrique et compte prolonger ses voies, par la rue de la Régence, jusqu'à la place du Théâtre.

— L'autorité supérieure vient d'inviter les administrations communales de Bruxelles, de Schaerbeek et de Saint-Josse-ten-Noode à soumettre à une enquête la demande de la Société anonyme des tramways bruxellois tendant à pouvoir remplacer sur la ligne de Schaerbeek au bois de la Cambre la traction par les chevaux par la traction électrique, au moyen du système dit « par caniveau souterrain ». A ce propos, une délégation composée de MM. de Potter, échevin des travaux publics de la capitale ; De Jemblinne, ingénieur chargé du service des tramways de la Ville ; Wybauw, chef-ingénieur du service d'électricité, et un fonctionnaire de la section du pavage, a quitté Bruxelles, ces jours derniers, pour Budapesth et Vienne, où elle va étudier le service existant de traction électrique souterraine des tramways.

Budapesth (Hongrie). — *Traction.* — Le tramway électrique souterrain de Budapesth est terminé et sera incessamment livré au trafic. Les autorités en ont pris réception dans le courant d'avril. Cette ligne a 3 695 m de longueur et le train d'inauguration a franchi cette distance en 10 minutes 40 secondes (sans arrêts). Il y a 12 stations. Le trafic est desservi par de magnifiques wagons de 12 m de long et de 2,20 m de large, pouvant contenir 28 voyageurs. La force motrice est fourni par des dynamos, système Siemens et Halske. Les voitures partiront, sur chacune des deux voies, à des intervalles de une minute et demie. La vitesse des trains est fixée à 40 km à l'heure. Le prix de transport est fixé à 20 centimes ; les billets sont délivrés par des distributeurs automatiques moyennant une pièce de 20 centimes.

Capriolo et Ponte San Pietro (Italie). — *Transport de force.* — D'importants travaux pour le transport de la force motrice par l'électricité viennent d'être effectués dans les ateliers de tissage du coton de MM. Niggeler et Kuppfer à Capriolo. Une station hydraulique fournit actuellement 600 chevaux en courant polyphasé et pourra en donner 1 500. La distance de transport n'est que d'une centaine de mètres, le courant actionne différents moteurs dans les ateliers dont un de 250 chevaux.

Une application du même genre a aussi remplacé la vapeur comme force motrice dans les ateliers de tissage de M. Legler-Neffi à Ponte San Pietro. Une station hydraulique d'environ 800 chevaux pouvant s'élever à 1 100 fournit du courant pour actionner deux gros moteurs de 300 chevaux chacun. La distance de transport de ce dernier est de 4 kilomètres. Cette substitution a, paraît-il, donné d'excellents résultats tout en réalisant, avec l'énergie électrique, une notable économie sur l'emploi de la vapeur.

Charxoff (Russie). — *Éclairage.* — Le maire de la ville de Charxoff prie les industriels français désireux de participer à la fourniture du matériel nécessaire à l'éclairage électrique de cette cité, de lui faire parvenir le plus tôt possible les prix, les délais et les conditions de livraison des appareils ci-dessous :

1° Chaudières ; 2° Machines à vapeur ; 3° Dynamos d'une puissance suffisante pour l'alimentation de 6 000 lampes de 10 bougies et 500 arcs différentiels de 3 à 6 ampères ; 4° Accumulateurs ; 5° Câbles et fils de dérivation ; 6° Lampes à incandescence par quantité de 10 000 à 15 000 ; 7° Lampes à arc par 400 à 500 ; 8° Petit appareillage (douilles, interrupteurs, etc.) et appareils de tableau de distribution.

Ecrire directement à l'Hôtel de Ville de Charxoff (Russie).

Clenezzo (Italie). — *Transport de force.* — L'emploi de l'électricité comme force motrice devient de plus en plus répandu en Italie. Nous apprenons qu'une concession de 30 années vient d'être accordée à MM. Schuckert et Cie de Nuremberg pour l'utilisation des eaux de la rivière Brembo, près Clenezzo et Sedrina, où sera construite une importante station centrale destinée à fournir l'éclairage et surtout la force motrice aux pays de Bergamo, Alzano, Maggione, Clenezzo et Sedrina.

Genève. — *Traction.* — Depuis quelques jours la Compagnie des Tramways de Genève a substitué la traction électrique à la traction animale sur sa ligne la plus importante. Le tronçon où la substitution vient d'être effectuée a une longueur de 4 250 mètres et réunit Genève à la petite ville de Carouge. Toute l'installation des voitures a été livrée par la Compagnie de l'Industrie Electrique

qui s'est chargée en même temps de la pose de la ligne. Cette dernière est à conducteur aérien ; elle reçoit le courant à 550 volts de machines dynamos placées à l'usine hydraulique de la Coulouvrenière située sur le Rhône.

Le nouveau matériel comprend 16 voitures, actionnées chacune par deux moteurs de 20 chevaux. Le type de ces voitures est en plus grand celui adopté déjà pour sa ligne de banlieue Sacconnexe-Champel; elles peuvent contenir 45 voyageurs et sont calculées pour gravir des pentes supérieures à 47 o/oo.

La substitution de la traction électrique à la traction par chevaux et à la vapeur sera prochainement effectuée sur la totalité du réseau genévois de la Compagnie, comprenant un développement de 18 à 19 kilomètres, dès que l'Administration fédérale des Téléphones aura pris les mesures de sécurité et éloigner son réseau de la proximité immédiate de la ligne.

D'après les essais antérieurs on peut évaluer à près d'un tiers l'économie d'exploitation qui résultera de la transformation.

Laporte (*États-Unis*). — *Traction.* — Les membres du Syndicat des capitalistes de New-York et Cleveland réunis à Laporte ont entrepris de constuire un réseau de tramways électriques dans le Northern-India. Ce réseau réliera entre-elles les villes de : Laporte, Michigan City, South Bendet Elkhart. Ces lignes desserviront aussi un grand nombre de villes d'importance secondaire et de communes environnantes.

Ce projet recevra, avant sa mise à exécution, la sanction de M. Lamont, secrétaire d'Etat, et de M. Whitney, ex-secrétaire.

Londres. — *Traction.* — La question des tramways électriques, dont nous avons entretenu nos lecteurs (voir *Éclairage Électrique,* t. VII, p. 186, 25 avril 1896) s'agite en ce moment à Londres. Il s'agirait, comme nous l'avons dit antérieurement, de substituer la traction électrique à la traction animale sur tous les réseaux de tramways de la ville. Ce projet a fait naître parmi les industriels intéressés une agitation facile à comprendre mais qui n'est pas défavorable au projet.

Les promoteurs de cette substitution ont récemment déposé aux autorités compétentes un rapport dans lequel ils prennent pour exemple la ville de New-Orléans où la traction électrique a remplacé les mules sur tous les réseaux de la ville et où les lignes ont une longueur totale de 28,96 kilomètres. Les bénéfices réalisés par les tramways électriques sur les anciens tramways à mules s'élèvent à environ cinq millions de francs par an.

Il est à présumer que le projet grandiose dont on s'occupe à Londres sera examiné et discute encore longuement avant sa réalisation.

Moscou (Russie). — *Éclairage.* — A l'occasion du couronnement de l'empereur Nicolas II on a installé l'éclairage électrique dans les palais du Kremlin, dont l'éclairage avait été fait jusqu'à ce jour par des bougies de cire. Celles-ci vont être avantageusement remplacées par 15 000 lampes de quatre bougies, 3 000 lampes de 16 bougies et 20 lanternes à arc ; le tout sera alimenté par 4 machines de 10 000 chevaux. Ces machines sont installées dans le jardin Alexandre, près de la porte de la Trinité, et dissimulées dans un édicule construit dans le style des murailles du Kremlin. Les travaux d'installation quoique déjà très avancés sont poursuivis activement pour permettre de faire les essais de l'éclairage avant la cérémonie.

New-York. — *Traction.* — La Compagnie de la traction du Métropolitain se propose d'adopter cette année le trôlet souterrain sur différentes lignes représentant une longueur de 161 kilomètres. Il est à présumer que cette application sera faite en partie sur les lignes actuellement en construction et, d'après les expériences qui seront faites en vue de reconnaître l'avantage et l'emploi pratique du trôlet souterrain, il pourrait bien en résulter une tranformation générale sur toutes les lignes du Métropolitain. Cette solution serait désirable tant pour le progrès de l'application de l'électricité à la traction que pour les habitants de New-York avoisinant les lignes et pour qui la fumée des locomotives n'a jamais eu rien d'agréable.

Nicolaieff (Russie). — *Transport de force.* — Une usine dont la puissance mécanique entière, soit 1 000 chevaux, sera constituée entièrement par des turbines de Laval, voilà qui certes, n'est pas encore banal, mais constitue un résultat remarquable, deux ans à peine après l'apparition de la turbine sur le continent. La Société Cockerill établit, en effet, à Nicolaieff (Russie) d'importants chantiers de construction, dont les nombreux outils seront tous mus électriquement. Le courant nécessaire aux électromoteurs sera produit dans une usine centrale, par cinq groupes identiques de chacun 200 chevaux constitués par une chaudière

multitubulaire timbrée à 14 atmosphères et une turbine Laval de 200 chevaux, accouplée directement à une double dynamo Desroziers construite par la maison Bréguet.

Chacun des groupes fournira son courant sous 500 volts.

La consommation de vapeur, par cheval électrique en pleine charge, est garantie inférieure à 9 kg par heure. A demi-charge, cette consommation n'atteindra pas 10 kg par heure.

Les turbines-dynamos de 200 chevaux ainsi constituées, présentent un encombrement d'environ 3,6 m de longueur, 1,58 m de largeur et 1,74 m de hauteur; leur poids est inférieur à 10 000 kg.

Le disque moteur des turbines de 200 chevaux a 50 cm de diamètre; il fait 12 500 tours par minute. Les arbres des deux dynamos du groupe feront 840 tours par minute.

Sedan.— Traction.— Des propositions, en vue de l'établissement des tramways électriques à Sedan, ont été faites par diverses Compagnies. Les commissions se sont arrêtées aux propositions de M. Cauderay, de Paris : établissement d'un réseau complet, cinq lignes ; le tout au risque et périls de l'entrepreneur, sans aucune subvention de la ville.

La gare serait place Turenne; une ligne se dirigerait sur Torcy par la rue de Paris, jusqu'au passage à niveau de l'ancienne gare; une autre de la place Turenne à Gaulier; une troisième à la gare par la rue Gambetta, l'avenue Crussy et l'avenue Philipoteaux; une autre de la place Turenne à Balan jusqu'à la ruelle Foulon, par les rues Gambetta, Carnot, du Ménil, faubourg du Ménil. Enfin la dernière jusqu'à l'extrêmité du Fond-de-Givonne. Le prix des places serait de 10 à 15 centimes; les voitures pourraient contenir 60 personnes et feraient un minimum de 56 voyages par jour. Sous réserves des garanties à demander aux concessionnaires et sous réserves des changements de parcours qui peuvent être demandées, les conclusions favorables du rapport sont adoptées.

Un traité sera passé prochainement avec M. Cauderay, et la convention sera présentée à la ratification du Conseil afin de pouvoir faire toutes les démarches nécessaires pour obtenir l'autorisation de commencer les travaux le plus tôt possible.

Silvertown (Colorado).— Transport de force.— La Société Thomson-Houston vient de créer une installation électrique intéressante aux usines du Lac d'Argent, à 6 kilomètres 1/2 au sud-est de Silverton et à 3 100 m d'altitude. Au lieu de dépenser, pour les machines à vapeur des broyeurs, 5 000 fr de charbon qu'on montait par une longue route en zigzags, on utilise une dérivation de rivière venant par un canal de 3 200 mètres de long, transportant 65 mètres cubes par minute, donnant une chute d'eau de 60 mètres et une puissance utilisée de 640 chevaux. Deux roues Pelton de 1,25 m reliées par courroies à deux alternateurs triphasés de 150 kilowatts, fournissent le courant sous un potentiel de 2 500 volts à une distance de 5 km. La station réceptrice comprend un moteur de 100 chevaux alimenté directement, plus un autre de 100 et un de 75 alimentés sous 220 volts par des transformateurs, sans compter un moteur de 15 chevaux pour pompe.

Stuttgart (Allemagne).— Traction.— Le réseau de tramways électriques de la ville de Stuttgart vient d'être inauguré et est en exploitation depuis les premiers essais, qui ont eu un plein succès. La longueur totale des lignes à traction électrique est de 24 km. La Municipalité remplacera également les autres lignes à traction animale par la traction électrique en adoptant comme pour les lignes actuelles le mode de distribution de courant par fil aérien. Le réseau est desservi par 65 voitures motrices pouvant contenir chacune 30 voyageurs dont 16 à l'intérieur et 14 sur la plate-forme. Chaque moteur actionne deux autres moteurs à simple réduction. Les voitures ont une vitesse moyenne d'environ 13 km à l'heure. Le courant est fourni par la station d'éclairage électrique à laquelle ont été adjointes les machines et dynamos nécessaires pour alimenter le nouveau réseau.

Vallorbe et Vaulion (Suisse).— Éclairage et force motrice.— La Société électrique du Châtelard, près Vallorbe, dont le but est de fournir la lumière électrique et la force motrice aux localités de Vallorbe et de Vaulion, s'est constituée régulièrement. L'énergie nécessaire sera produite par l'Orbe sous le Viaduc de Châtelard où la Société a acheté le droit d'usage d'eau. La chute étant de 12 m, la puissance disponible sera de 250 chevaux pendant les basses eaux; seulement, comme un développement industriel ne manquera pas de se produire dans les deux communes sus-indiquées, le projet prévoit un tunnel d'une section qui permettra d'obtenir 600 chevaux dès que le débit de l'Orbe atteindra 5 m^3 par seconde.

Zurich (*Suisse*).— *Traction*. — Le Conseil Municipal de cette ville, auquel ont été remis les plans et prix d'adjudication de différentes lignes de tramways projetées pour la ville de Zurich, vient après délibération d'accepter la ligne de Zurich à Oerlikon et Seebach, et de cinq autres lignes partant de différents points de la ville pour desservir les quartiers extérieurs. Les concessionnaires sont : La compagnie de Machines Oerlikon, Th. Berschinger constructeur à Lenzburg et la Stadtgemeinde Zurich. D'autre part les travaux d'agrandissement de la station centrale de la ville (Voir *Éclairage Électrique* t. VII. p. 187, 25 Avril 1895) vont être commencés afin de pouvoir être en mesure de fournir le courant nécessaire à ces nouvelles lignes, lesquelles, croyons nous, seront aussi éclairées à l'électricité sur tout leur parcours.

CHAMBRE SYNDICALE DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES

Réunion du 24 mars 1896.

La séance est ouverte à 5 h 1/2, sous la présidence de M. Harlé.

Sont présents :

MM. Bénard, Berne, Bernheim, Clémançon, Geoffroy, Harlé, de Loménie, Meyer, Radiguet, Roux, Sartiaux, Sciama, Vernes, Violet.

Se sont excusés :

MM. Cance, Carpentier, Ducretet, Ebel, Grammont, Hillairet, Juppont, Mildé, Portevin, Tricoche, Vivarez.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

Par suite d'une erreur, M. de Loménie a été oublié parmi les membres présents.

M. Sciama rend compte à la Chambre des travaux de la Commission des transports du matériel électrique par les chemins de fer. Cette Commission entendra lecture du rapport de M. Violet dans une prochaine réunion et le présentera à la Chambre aussitôt après.

La Chambre s'occupe ensuite du renouvellement de son Bureau, comportant le Président, trois Vice-Présidents, deux Secrétaires et un Trésorier.

Après un échange d'observations, la Chambre émet l'avis :

1° Qu'il convient de limiter à quatre années la durée de la vice-présidence ;

2° Qu'il convient d'appliquer cette mesure dès aujourd'hui.

La Chambre passe ensuite aux élections.

M. Ferdinand Meyer est élu président pour deux ans par 12 voix et 1 bulletin blanc sur 13 votants.

M. Meyer remercie vivement la Chambre de cette unanimité et de la confiance qu'elle lui témoigne.

Élection des vice-présidents :

Ont obtenu sur 14 votants :

MM. Hillairet................	14 voix
Sartiaux................	11 —
Mildé..................	8 —
Clémançon............	5 —
Violet..................	3 —

Sont élus : MM. Hillairet, Sartiaux, Mildé,

Élection des secrétaires :

Ont obtenu sur 15 votants :

MM. Roux..................	14 voix
Triquet................	13 —
Berne..................	3 —

Sont élus : MM. Roux et Triquet.

Élection du trésorier :

M. Radiguet est élu trésorier par acclamation.

Les vice-présidents, les secrétaires et le trésorier sont élus pour l'exercice 1896.

Les personnes dont les noms suivent ont demandé leur admission, qui est prononcée par la Chambre, comme membres adhérents du Syndicat :

M. Blanchon, directeur général de la Société Tudor, à Lille, présenté par MM. Meyer et Harlé.

M. Paul Perrin, 8, impasse Fessart, Paris, présenté par MM. J. Richard et G. Roux.

M. Harlé, président sortant, remercie la Chambre de l'honneur et de la confiance qu'elle lui a fait pendant les deux années de son exercice et la prie de les reporter sur M. F. Meyer (Applaudissements).

M. Harlé cède le fauteuil présidentiel à M. F. Meyer.

M. F. Meyer rappelle les importants services qu'a rendus M. Harlé pendant sa présidence et lui transmet tous les remerciements de la Chambre. Il exprime le vœu que M. Harlé continue à ses anciens collègues le précieux concours de son expérience (Applaudissements).

La Chambre remercie M. Vivarez, vice-président sortant, et M. Bernheim, secrétaire sortant, pour le concours qu'ils lui ont apporté d'une façon si active et si utile.

M. le Président donne lecture de la lettre de M. Bernheim, commissaire de la Fête du Syndicat,

et autorise son trésorier à rembourser à M. Bernheim la somme de 137,50 fr avancée par lui.

La Chambre autorise le trésorier à payer au Comité central la somme de 125 fr, montant de sa cotisation, et 100 fr pour les médailles décernées aux ouvriers.

M. Harlé, président sortant, est délégué par la Chambre au Comité central.

M. Violet remercie la Chambre, au nom des deux ouvriers de la maison Carpentier, qui avaient été invités au banquet du Syndicat. Ces ouvriers ont remporté un souvenir ineffaçable de la gratitude du Syndicat.

Le système de filetage pour vis mécaniques établi par la Société d'Encouragement. — Les lecteurs de la *Lumière Électrique* se rappellent sans doute la campagne entreprise dans la presse scientifique en 1893 et 1894, à l'instigation de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale, dans le but de rendre universel le système de filetage proposé par cette Société. Une note de M. E. Sauvage publiée dans son dernier *Bulletin* nous apprend que les efforts de la Société commencent à porter leurs fruits.

Aussi n'est-il pas inutile de rappeler les principales règles de ce système, ce sont :

La forme du filet dérive d'un triangle équilatéral tronqué par deux parallèles à la base (c'est à dire au côté parallèle à l'axe de la vis) menées respectivement au huitième de la hauteur à partir du sommet et de la base. C'est la forme de filet adoptée dans les anciens filetages de la marine française et dans le système Sellers, aux Etats-Unis.

Le diamètre des vis se mesure sur l'extérieur des filets après troncature.

Le système comprend une série normale de *vis principales* de diamètres pairs, dont les pas croissent de demi en demi-millimètre à partir de 1 mm. Le tableau qui suit indique les pas et les diamètres de cette série normale :

Pas	Diamètre	Pas	Diamètre
1 mm	6 mm	6 mm	64 mm
1,5	10	6,5	72
2	14	7	80
2,5	18	7,5	88
3	24	8	96
3,5	30	8,5	106
4	36	9	116
4,5	42	9,5	126
5	48	10	136
5,5	56	10,5	148

Entre les vis principales, on peut intercaler, suivant les besoins, des vis intermédiaires, dont le pas reste celui de la vis principale immédiatement inférieure. Les diamètres de ces vis intermédiaires doivent toujours être exprimés par un nombre entier de millimètres, et de préférence par un nombre pair.

Les vis pleines et les vis creuses ou écrous qui se correspondent ont, en principe, mêmes filets ; mais afin de tenir compte des tolérances d'exécution, indispensables dans la pratique, tolérances qui doivent varier suivant les circonstances, le profit fixe est un *profil limite*, pour la vis pleine comme pour la vis creuse ; cette limite est prévue *par excès* pour la vis pleine et *par défaut* pour la vis creuse ; en d'autres termes, la vis pleine doit toujours rester à l'intérieur du profil limité, et la vis creuse à l'extérieur de ce même profil.

Outre ces règles fondamentales, la Société d'Encouragement a indiqué un certain nombre de règles accessoires concernant les dimensions des corps, des boulons et des vis, de leurs têtes, des trous de goupilles et des fentes de tournevis, règles accessoires dont les industriels intéressés trouveront le détail dans le *Bulletin* de la Société de juin 1894, p. 311.

Parmi les établissements et industriels qui ont adopté ce nouveau système de filetage, M. Sauvage cite : les ateliers de la Marine, les Compagnies des chemins de fer de l'Est, du Midi, de l'Etat, du P.-L.-M, de l'Ouest, la Société des ateliers et chantier de la Loire, la Société des forges et chantiers de la Méditerranée, la Compagnie du touage de la basse Seine et de l'Oise, la Compagnie anonyme des Forges de Châtillon et Commentry, la Compagnie des Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de fer, MM. Brissonneau et Lotz constructeurs à Nantes, MM. Sautter, Harlé et Cie, MM. J. et A. Niclausse et M. Nathan Bloch de Paris.

A cette liste, on pourrait ajouter un grand nombre d'établissements qui emploient les nouveaux filetages sans en avoir avisé la société. Elle ne comprend pas d'ailleurs les noms des industriels qui ont écrit à la Société pour demander divers détails sur le système de filetage en se déclarant disposés à l'adopter ; elle ne comprend pas non plus les noms des industriels et des ingénieurs qui ont déclaré se rallier aux propositions de la Société pendant ses enquêtes ou lors de sa décision finale.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. MAUCHAUSSAT, 34, Boulevard de Vaugirard

Tome VII — **Samedi 16 Mai 1896** — **3e Année. — N° 20**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LES COURANTS DE DÉPLACEMENT ÉLECTRIQUE ET L'INDUCTION MAGNÉTIQUE DU FER A L'ÉTAT VARIABLE

Le champ magnétique dans lequel étaient suspendus les corps étudiés antérieurement, était l'espace interpolaire de deux noyaux (¹) en fil de fer qui s'aimantaient par un courant constant et par un courant variable. Mais comme nous ne connaissons pas la relation entre les intensités des champs constants et variables développés par les courants de mêmes intensités efficaces, nous ne savons pas si le champ provoqué par le courant alternatif d'une intensité efficace déterminée $\mathfrak{I}_e$ est supérieur, égal ou inférieur au champ provoqué par le courant d'intensité constante et égale à $\mathfrak{I}_c$. Il était donc de toute nécessité de répéter les expériences en tenant compte de cette différence possible des champs constant et alternatif ; mais, comme la comparaison des champs est une étude particulière qui exige des méthodes spéciales (²), j'ai suspendu les corps à l'intérieur d'une bobine sans noyaux, afin d'éliminer l'influence du facteur inconnu. Malheureusement l'alternateur Siemens n'est pas demeuré assez longtemps à ma disposition pour que j'aie pu répéter toutes les expériences antérieures ; j'ai seulement étudié la dissolution de sulfate de fer ; mais déjà cette étude montre que peut être tous les changements que j'ai observés antérieurement dans les diélectriques et dans les électrolytes qui étaient tous diamagnétiques peuvent être attribués à la différence entre l'induction magnétique à l'état permanent et à l'état alternatif. Les augmentations des déviations équatoriales à l'état variable, qui dépassaient les déviations à l'état constant de 12 pour 100, sont peut-être dues à l'augmentation correspondante de l'induction magnétique des noyaux.

Les corps étudiés étaient suspendus dans le champ d'une bobine sans noyaux. Cette bobine se composait de deux autres formées chacune de 283 tours d'un fil de 4 mm de diamètre, de sorte que pour le courant maximum de 15 ampères on avait 8490 ampères-tours. Les anneaux en paraffine donnaient de trop faibles déviations pour que l'on pût en tirer quelques conclusions. Une autre étude

(¹) Voir dans le numéro précédent : W. DE NIKOLAIEVE. — Deux méthodes pour découvrir et étudier les courants dans les circuits métalliques ouverts et les courants de déplacement dans les diélectriques.

(²) MM. Silv. P. Thompson et Miles Walker ont fait des expériences à ce sujet. Ils en déduisent que l'attraction exercée par un électroaimant lamellaire sur son armature lamellaire est la même pour un courant excitateur continu $\mathfrak{I}$ que pour un courant alternatif d'intensité efficace égale à $\mathfrak{I}$, autant, du moins, que l'induction magnétique ne dépasse pas 4000 c.g.s. Pour des inductions plus grandes, le courant continu excite des attractions plus fortes que le courant alternatif ; *Société de Physique de Londres*, 27 avril 1894).

était faite avec la dissolution de sulfate de fer contenu dans un tube annulaire en verre et qui pesait près de 45 gr ; les mesures ont donné des chiffres très concordants pour les déviations réduites $\left(\frac{\Delta}{I^2}\right)$: la moyenne $\frac{\Delta}{I^2}$ pour le courant constant est 0,000829 ; la moyenne $\frac{\Delta}{I^2}$ pour le courant alternatif, 0,0008365 ; la différence 0,0000075 égale à 0,9 pour 100 de la déviation réduite à l'état variable ne dépasse pas les limites d'erreur possible, de sorte que ces expériences n'accusent pas même les courants de conduction et cependant le diamètre de la section était voisin de 1,5 cm.

Si les électrolytes étaient assimilables à des diélectriques, les courants de déplacement électrique dans le sulfate de fer devraient être beaucoup plus forts que dans la paraffine ; en effet, à cause de la plus grande perméabilité du sulfate, les courants de déplacement magnétique dans les molécules de ce dernier seront plus grands pour le même champ extérieur, et la force électromotrice crée par ces courants devra être aussi plus grande ; ce que montre aussi la formule du moment du couple moteur

$$\frac{c\,Q_0^2}{2}\,\frac{a^2KL}{bT^2-a^2KL}.$$

Mais, comme l'expérience ne manifeste pas les courants de conduction, incomparablement plus intenses que les courants de déplacement, on peut dire que la méthode employée, théoriquement exacte, n'est pas assez sensible pour accuser les courants de déplacement. Mais alors à quelles causes attribuer l'accroissement des déviations réduites équatoriales à l'état alternatif qui allait jusqu'à 12 pour 100 pour la paraffine ? Ces accroissements ne peuvent rentrer dans les erreurs, parce que les expériences étaient maintes fois répétées avec différentes intensités du courant alternatif ; les valeurs des déviations réduites étaient assez bien concordantes, puis on expérimentait avec différents échantillons, et cependant on a obtenu pour une période de 0",0161 un accroissement de 12 pour 100 et pour la période 0",0194 un accroissement de 9,03 pour 100. L'accroissement des déviations peut être expliqué par l'accroissement de l'induction magnétique du fer des noyaux. Cette augmentation est un fait possible ; en effet, si les courants de déplacement magnétique dans les molécules de fer à l'état variable sont sujets à une self-induction, alors, comme on l'avait calculé pour les courants de déplacement électrique, la différence entre les phases de la force magnétomotrice primaire et de la force magnétomotrice de la self-induction peut être égale à zéro ou à 0,5, de sorte que la seconde force peut concourir aux effets de la force primaire ; du reste le professeur J. J. Thomson déduit d'une hypothèse, faite sur l'état du fer soumis à une aimantation variable, que le fer pourrait augmenter d'induction magnétique à l'état variable ; mais je pense que mes expériences antérieures peuvent être regardées comme la première manifestation de cette qualité des corps magnétiques. Pour comparer les champs magnétiques à l'état variable et à l'état permanent on pourrait prendre au lieu de la paraffine la dissolution du sulfate de fer, qui ne m'a montré presque aucune trace de courants quelconques, mais qui est préférable à cause des grandes déviations qu'elle donne (1).

Les noyaux doivent être en fil ou en plaques ; il faudra les isoler les uns des autres par différents diélectriques ayant différents pouvoirs inducteurs spécifiques, pour voir si les causes d'augmentation ont uniquement leur siège dans la masse du fer ou si l'isolant a aussi sa part d'action ; dans le dernier cas, les courants de déplacement pourraient intervenir.

Les couches du diélectriques, disposées entre les lames ou les fils de fer sont dans les conditions les plus favorables à la manifestation des courants de déplacement ; en effet, si nous désignons par i le courant de déplacement dans la couche mince qui entoure une lame ou un fil de fer, le flux secondaire qu'il

(1) *Journal de Physique*, 3e série ; t. IV, p. 352.

produit sera exprimé par (L*i*), où L est le coefficient de self-induction de cette couche ; mais comme cette couche est appliquée à la surface du fer, L est dans ces conditions passablement grand, de sorte que malgré la faiblesse du courant, le flux (L*i*) pourrait peut être avoir une influence sur l'induction primaire des noyaux.

WLADIMIR DE NIKOLAIEVE.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ [1]

Nous avons déjà signalé bien des fois l'avantage que présente l'application de l'électricité à la conduite plus ou moins directe des machines-outils ; la figure 1 représente une de ces applications des plus heureuses parce

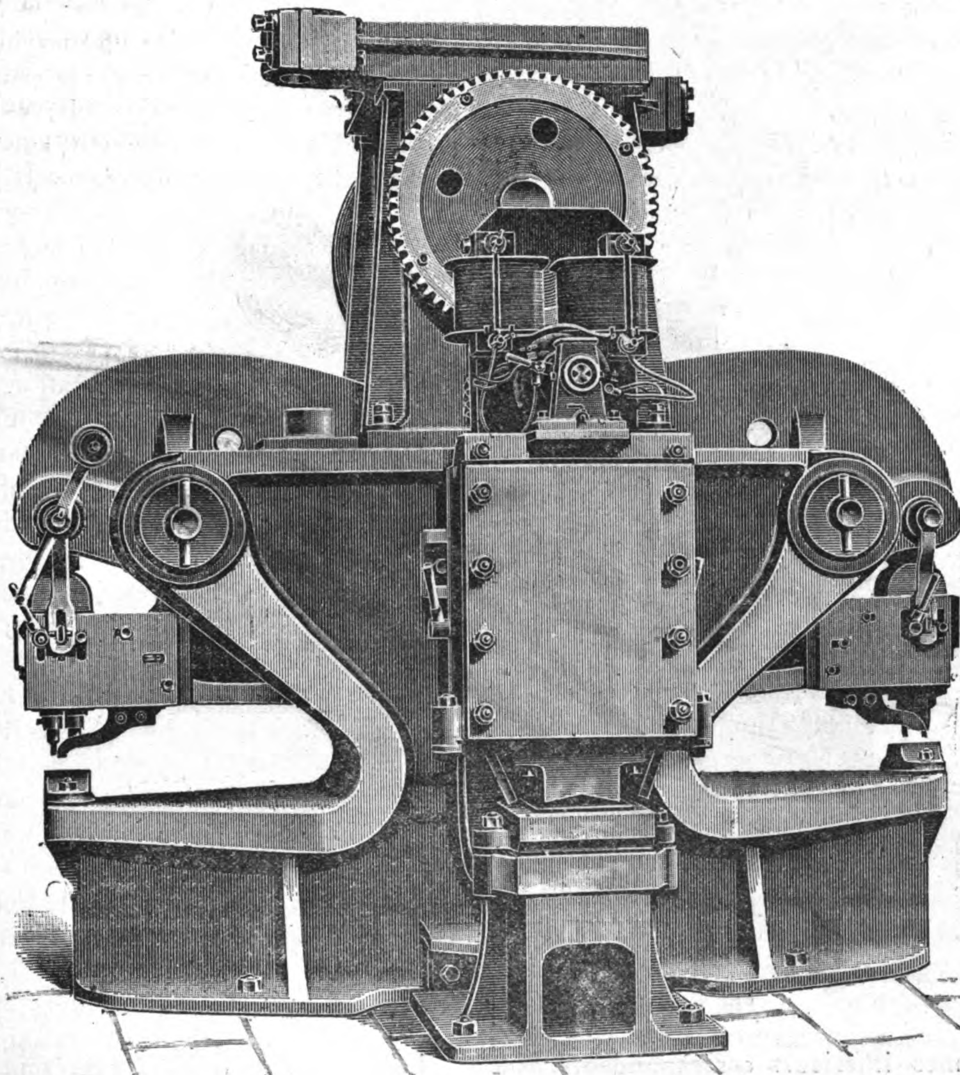


Fig. 1. — Poinçonneuse cisaille double, *Craig et Donnald.*

qu'on l'a disposée spécialement pour la commande électrique. C'est une poinçonneuse double dont chaque tête peut poinçonner deux trous à la fois, et ces têtes sont indépendantes ; elle peut poinçonner, à chaque tête, deux trous de 25 mm de diamètre dans des tôles

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 14 ; 4 avril 1896.

de 25 mm, à 1 m des bords de la tôle enfoncée dans ses mâchoires, ou un seul trou de 40 mm dans une tôle de 40 mm d'épaisseur. La machine est, en outre, pourvue d'une cisaille latérale pouvant découper des panneaux de 250 × 200 × 20 mm, et de deux paliers pour grues. La dynamo, de 18 chevaux effectifs, fait 700 tours par minute.

La figure 2 représente la commande d'un tour alésoir horizontal par une dynamo à vitesse constante, montée sur une petite table latérale et attaquant la broche par un harnais d'engrenages.

Le troisième exemple qui s'explique de lui-même est un tour alésoir vertical, genre de machine d'un emploi très fréquent aux Etats-Unis, dont on a remplacé le cône moteur par un harnais d'engrenages commandé par une dynamo.

Quant aux diagrammes (fig. 4 à 7) ils font, comme ceux que nous avons donnés précédemment, ressortir avec évidence l'avantage économique des dynamos sur les transmissions ordinaires. Les deux premiers, relevés sur la transmission de l'atelier de la Central Stamping C°, à la mise en marche, puis en pleine marche, font voir que la perte par les transmissions — partie hachurée des diagrammes — est notablement supérieure au travail utile (*useful work*) des machines. Les

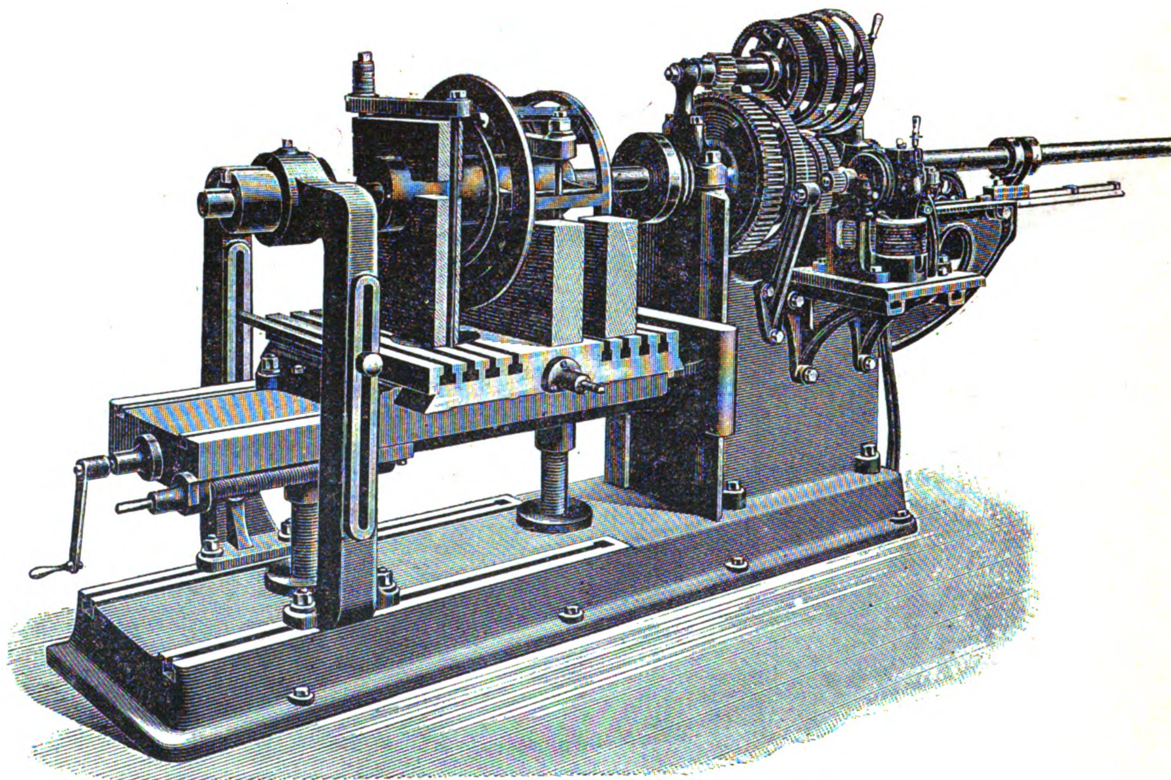


Fig. 2. — Tour alésoir horizontal *Crooker Wheeler*.

diagrammes inférieurs correspondants, avec remplacement des transmissions par des dynamos montrent que la perte de la transmission électrique : génératrice, fils et réceptrice ne dépasse guère 40 pour 100 de ce même travail (1).

La *perforatrice* de *Bliss* représentée par les figures 8 à 15 a ceci de particulier, que l'avancement de l'outil y est réglé par l'intensité même du courant qui fait tourner sa dynamo D, pivotée en a_2 a_3 dans le cadre fixe A'. A cet

(1) *Engineering* 20 mars 1896, par 366. Voir aussi l'*American Machinist* des 9 janvier et 5 mars 1896, p. 14 et 257.

effet, l'écrou H', rainuré sur les guides f', et dans lequel tourne la vis B du fleuret, prend son point d'appui sur l'armature O du solénoïde P', qui l'attire avec une force suffisante pour vaincre les résistances ordinaires du fleuret, mais qui cède quand ces résistances deviennent excessives. La rotation est transmise à B par l'arbre creux de la dynamo, son pignon E et le train F_3, à plateau rainuré en F_6 sur B. Au fond de course du fleuret, une butée m' (fig. 8) renverse par le commutateur M la marche de la dynamo, ou l'arrête simplement, le retrait du foret se faisant alors à la main après avoir débrayé l'écrou H' par le levier H_5 qui l'ouvre par les pitons h_7 h_7.

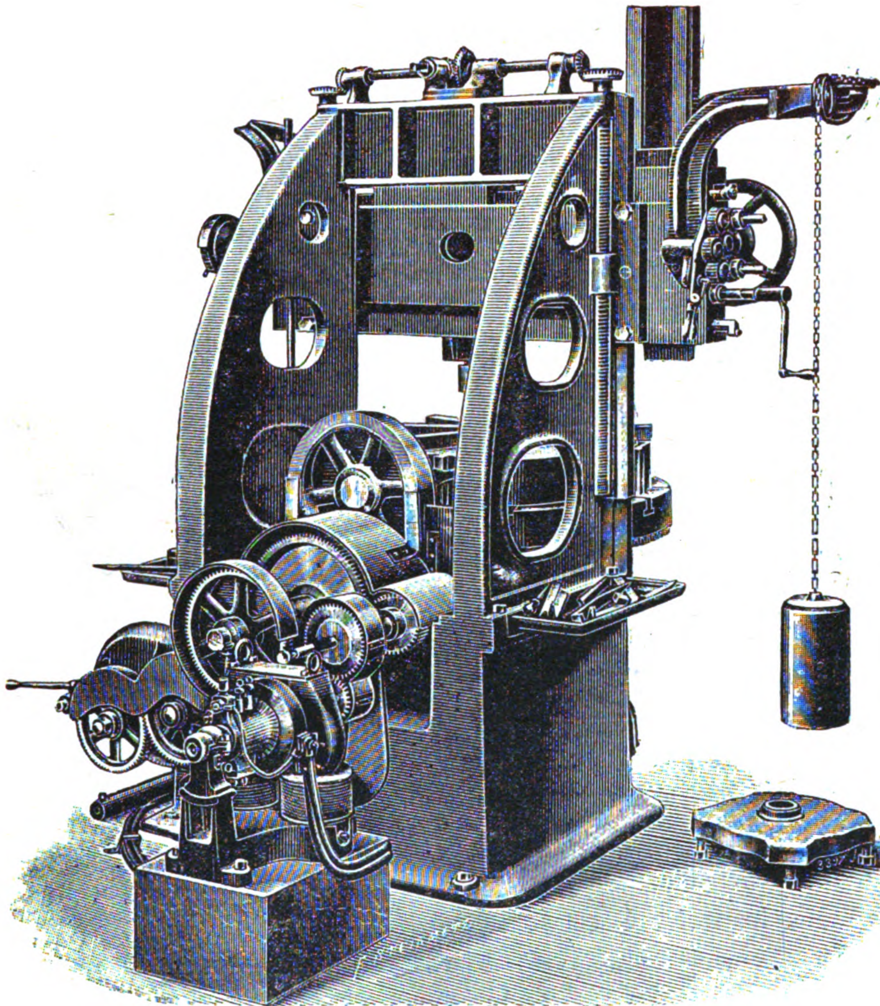


Fig. 3. — Tour alésoir vertical *Crooker Wheeler*.

MM. *Gorham* et *Holden* ont récemment proposé les formes d'embrayages électriques représentées par les figures 16 à 18 et facilement adaptables aux cônes de transmissions. En figure 16, le plateau A, en fer doux, calé sur l'arbre S entraîne le cône E, fou sur cet arbre par le mince disque de fer doux F, interposé entre A et C, dès que l'on envoie, par W W, le courant dans l'enroulement C. Le disque F fait que l'adhérence entre A et C disparaît immédiatement, dès que l'on coupe le courant. En figure 17, C ne tourne pas, il est fixe sur le manchon E du cône, ce qui dispense des balais W W. Enfin, en figure 18,

l'enroulement C, également fixe, est disposé dans un anneau qui enveloppe et protège toute la partie magnétique de l'embrayage.

Parmi les nombreux régulateurs pour turbines hydrauliques, l'un des plus récents et des plus simples est celui de M. *W. S. Libbey*. Le vannage de la turbine y est commandé (fig. 19 à 21) par l'arbre A, sur lequel est rainuré le manchon C; dans la position figurée, l'arbre A tourne, par E D *d* B, par exemple, dans le sens de la fermeture des vanes ; quand la turbine aura repris sa vitesse normale, le levier G, commandé, comme nous allons le voir, par le régulateur électrique, débrayera C de B, et A s'arrêtera, puis, si la turbine se ralentit, G embrayera C avec B', de sorte que A, entraîné par *d' c* B' en sens contraire de précédemment ouvrira les vannes jusqu'au rétablissement

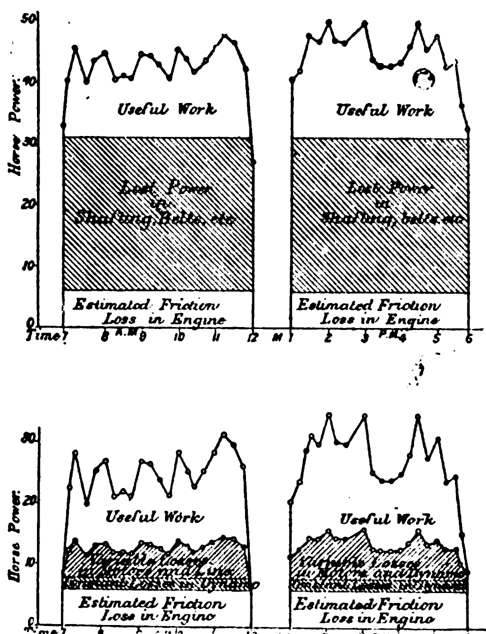


Fig. 4 à 7.— Diagrammes de transmissions ordinaire et électrique relevés à la Central Stamping C°. Les ordonnées représentent les puissances en chevaux et les abcisses les heures (matin A M., soir P M).

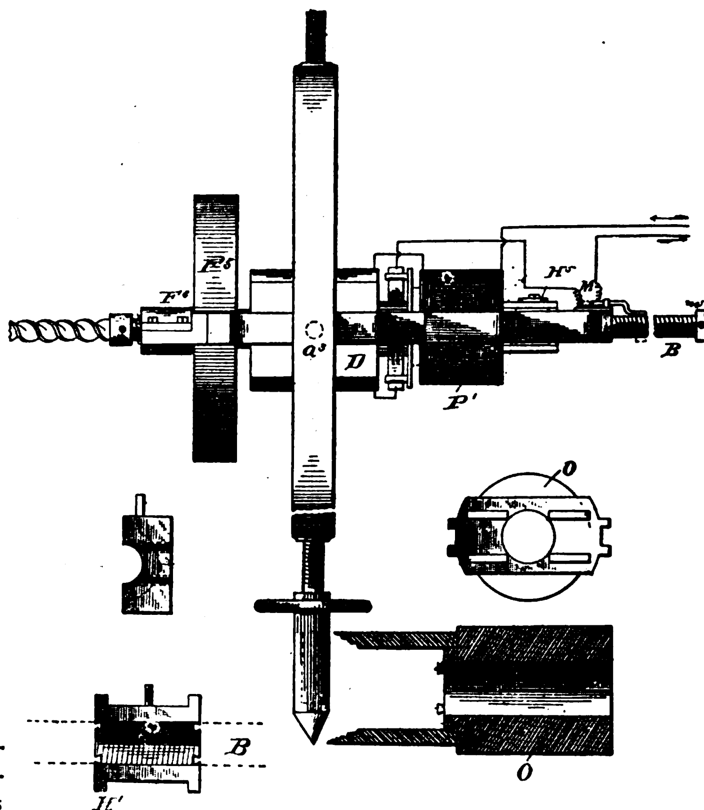


Fig. 8 à 12. — Perforatrice *Bliss*. Ensemble, détail de l'armature O et de l'écrou H

de la vitesse normale. Le levier G est commandé, de D, par les cames *f* et *f'* et les taquets à gradins F et F', sans cesse appuyés sur *f* et *f'* par des ressorts, et qui, suivant l'inclinaison donnée au balancier H par les électros I et I', embrayent C avec B ou B' ou l'en débrayent quand H, attiré par aucun des électros, est ramené, par les ressorts *o* et *o'*, dans sa position moyenne ou de marche normale. Il suffira donc de faire ouvrir et fermer les circuits des électros I et I' par un moderateur centrifuge quelconque, J par exemple, au moyen du jeu de contact $h_1 i_1 i_1$ (fig. 19), pour assurer le fonctionnement du système tel que nous venons de le décrire ; en outre, si, par suite d'un accident quelconque, comme la chute de la courroie du modérateur où le non fonctionnement d'un des électros-aimants, l'ouverture ou la fermeture des vannes devenaient excessives, l'écrou c_1, fileté sur le prolongement a_1 de a, fermerait par f_2 ou f_1 le circuit de l'électro qu'il faut pour arrêter le mouvement de A.

Le gouvernail électrique de M. *F. King*

fonctionne (fig. 22 à 23) comme il suit :

La voiture ou le bateau à diriger marchant en droite ligne, avec l'aiguille X au zéro (fig. 24), si l'on veut aller, par exemple à gauche, on fera par o, o_1 pivoter X et le bras E, de manière à fermer, par $A A_1$, les contacts $(B B_1)$ $(B_2 B_3)$, comme en figure 27, et que le courant passe, suivant les flèches 3, par $(Z V_1 B_3 A_1 B_2 V_2 R V B A E B_1 V_3 R Z)$ ce qui fait tourner la dynamo et l'arbre de commande *a* du gouvernail dans le sens voulu. Si l'on avait tourné O en sens contraire, de manière à fermer le circuit des moteurs par $(C_3 C_2)$ et $(C_1 C)$, il se serait mis à marcher en sens contraire.

En même temps, le galet L de E (fig. 25) abaisse par K, malgré le ressort *s*, le bras F, rainuré sur *a*, dont les contacts $P P_1$ se séparent ainsi des contacts suspendus H ; mais, quand, une fois la direction voulue ainsi donnée par la dynamo R au gouvernail, l'on ramène l'aiguille H au zéro, ainsi que O et E, le ressort *s* referme par $P P_1$ les contacts $(H H_1)$ $(H_2 H_3)$ de sorte que le courant passe, suivant les flèches 1, par $H_3 P_1 H_2 V V_3 R Z$

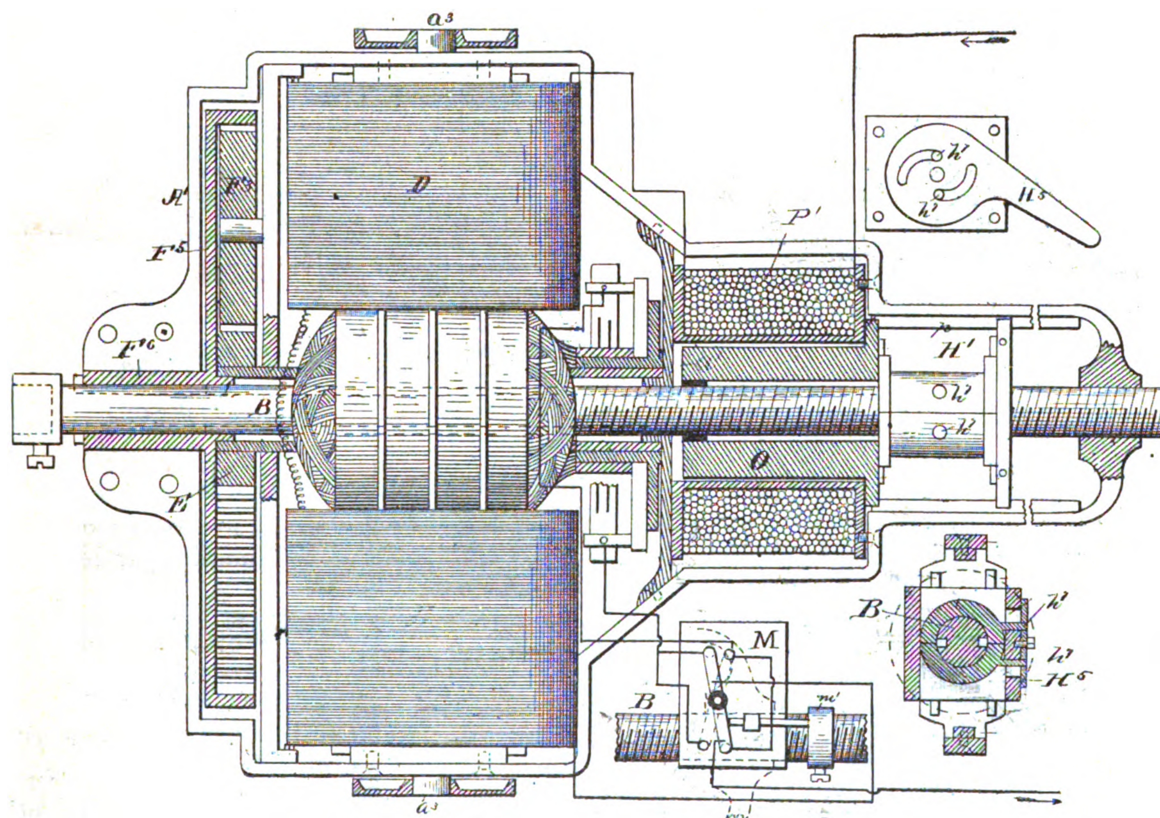


Fig. 13 à 15. — Perforatrice *Bliss*, détail du mécanisme moteur et de la manœuvre de l'écrou H'.

et que le moteur repart en sens contraire jusqu'à ce qu'il ait ramené le gouvernail au zéro, point où le bras F est repoussé par *s* dans une encoche de manière à rompre le circuit du moteur qui s'arrête. Si, pour une manœuvre en sens contraire, H avait fermé les contacts $(J J_1)$ $(j_2 j_3)$, la dynamo aurait évidemment ramené de même le gouvernail au zéro.

Parmi les applications de l'électricité l'une des premières et des plus heureuses, principalement aux Etats-Unis a été la commande des aiguilles et surtout des signaux de chemins de fer, soit directement, ce qui est relativement facile pour les signaux, soit indirectement par l'intermédiaire d'un agent mécanique auxiliaire et puissant comme c'est le cas pour les aiguilles. Le système électro-

pneumatique de M. *Westinghouse* emploie à cet effet l'air comprimé ; il est, comme on doit s'y attendre, des plus remarquables. Aussi, décrirons-nous avec quelques détails sa partie électrique, renvoyant pour sa partie mécanique le lecteur aux descriptions déjà publiées.

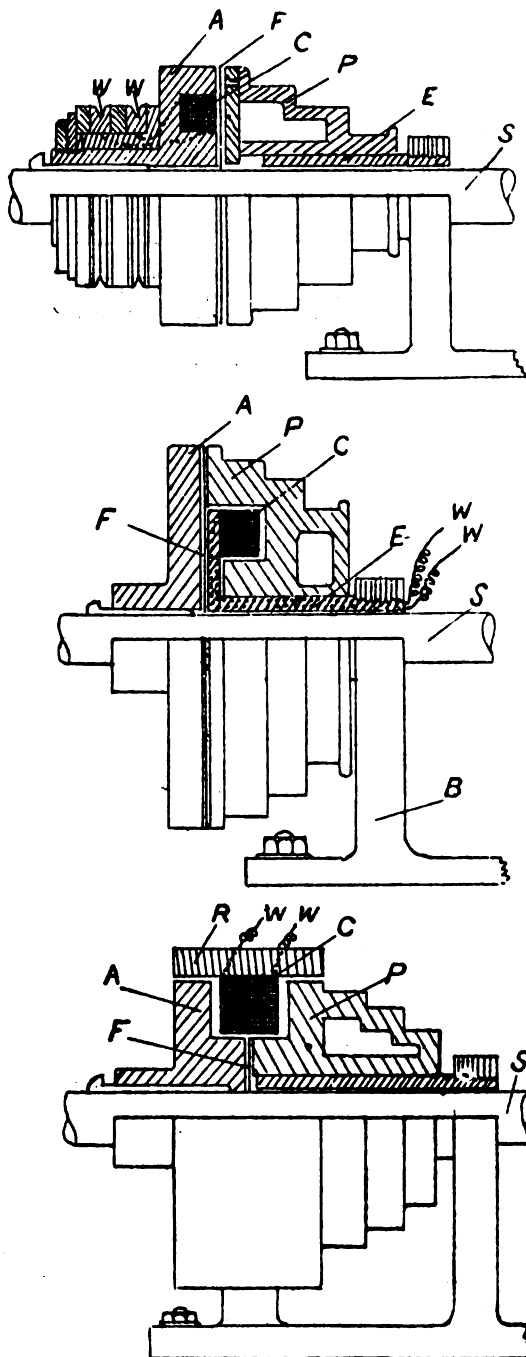


Fig. 16 à 18.— Embrayages *Grorham* et *Holden* (1895).

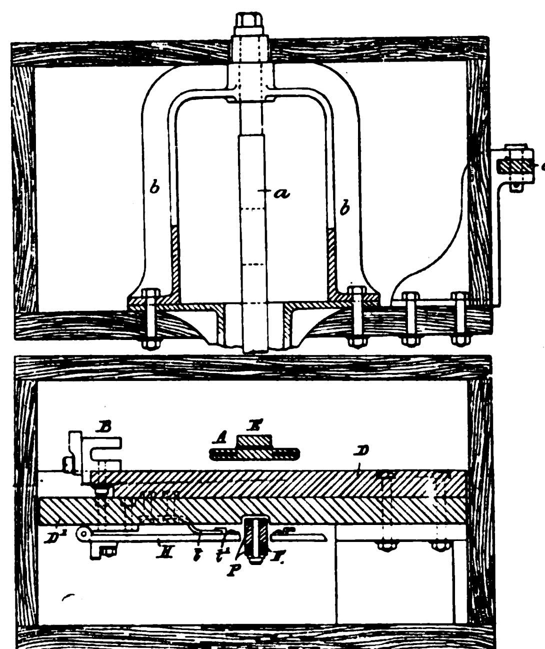


Fig. 22 et 23. — Gouvernail *King*.

Chaque manœuvre d'aiguille se compose d'un cylindre commutateur 36, avec châssis 1 (fig. 31) à balancier 2, commandés par les taquets 3 3 du quadrant 16, solidaire du cylindre 36, et dont le galet 4 appuie sur un res-

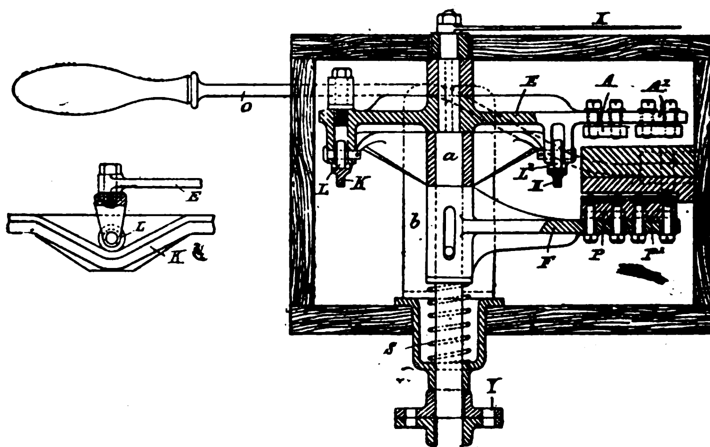


Fig. 24 et 25. — Gouvernail King.

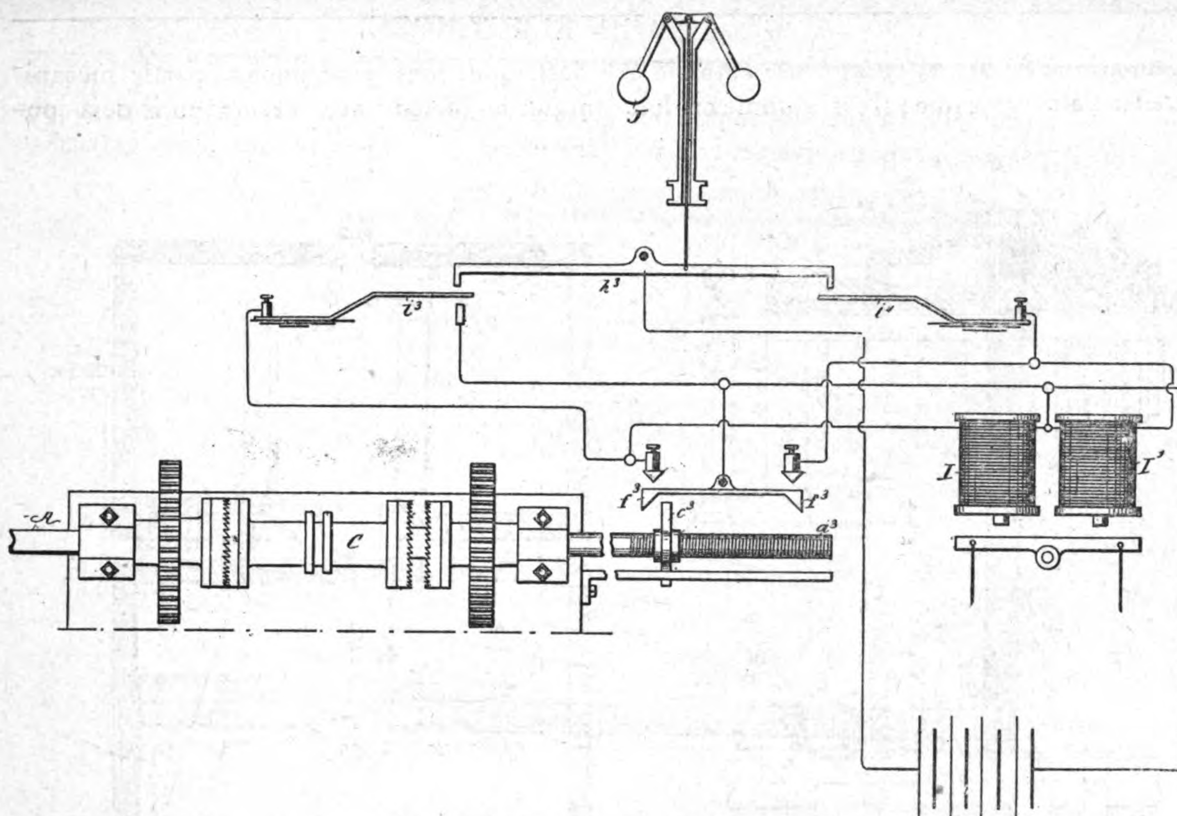


Fig. 19. — Régulateur de turbine *Libbey*.

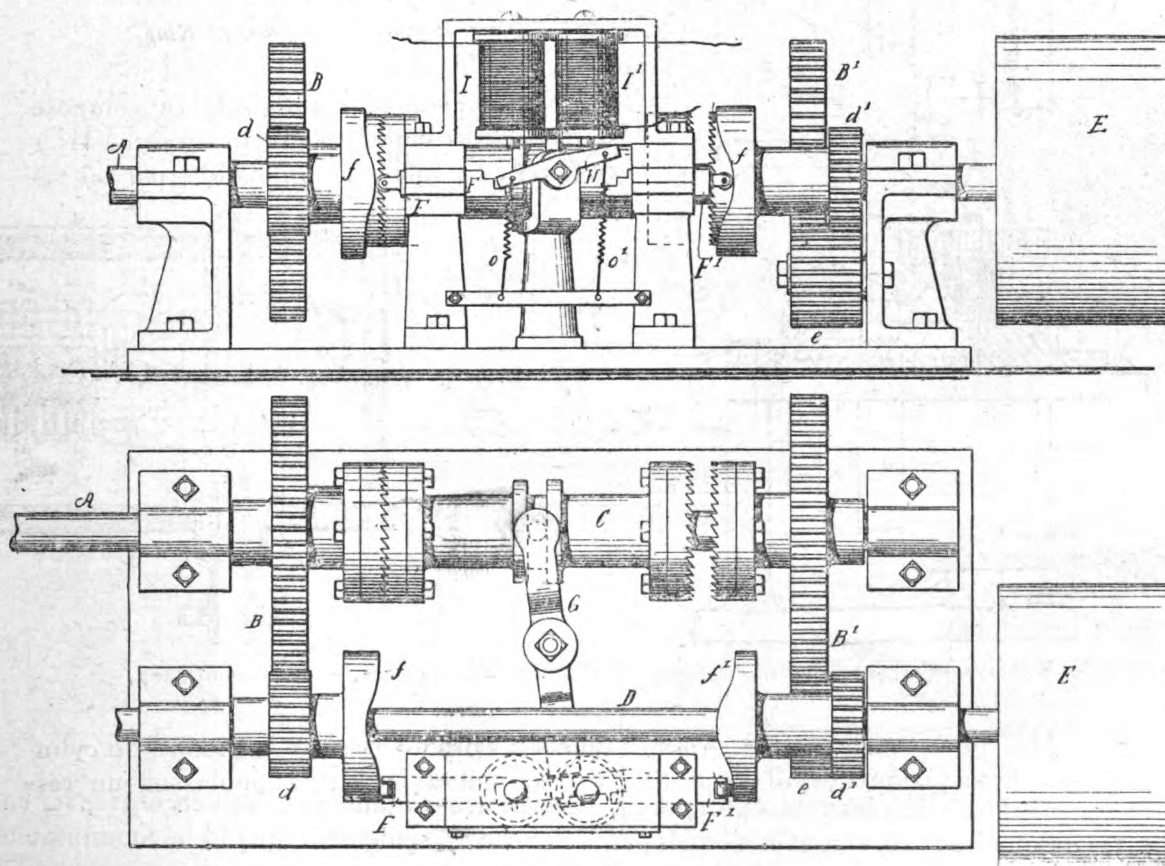


Fig. 20 et 21. — Régulateur *Libbey*, détail du mécanisme.

sort 5 5 de forme telle qu'une fois sa position moyenne dépassée, il rabatte vivement le balancier sur les contacts 6 ou 7. Des loquets 20 et 20_a, pivotés en 19, ont leurs extrémités

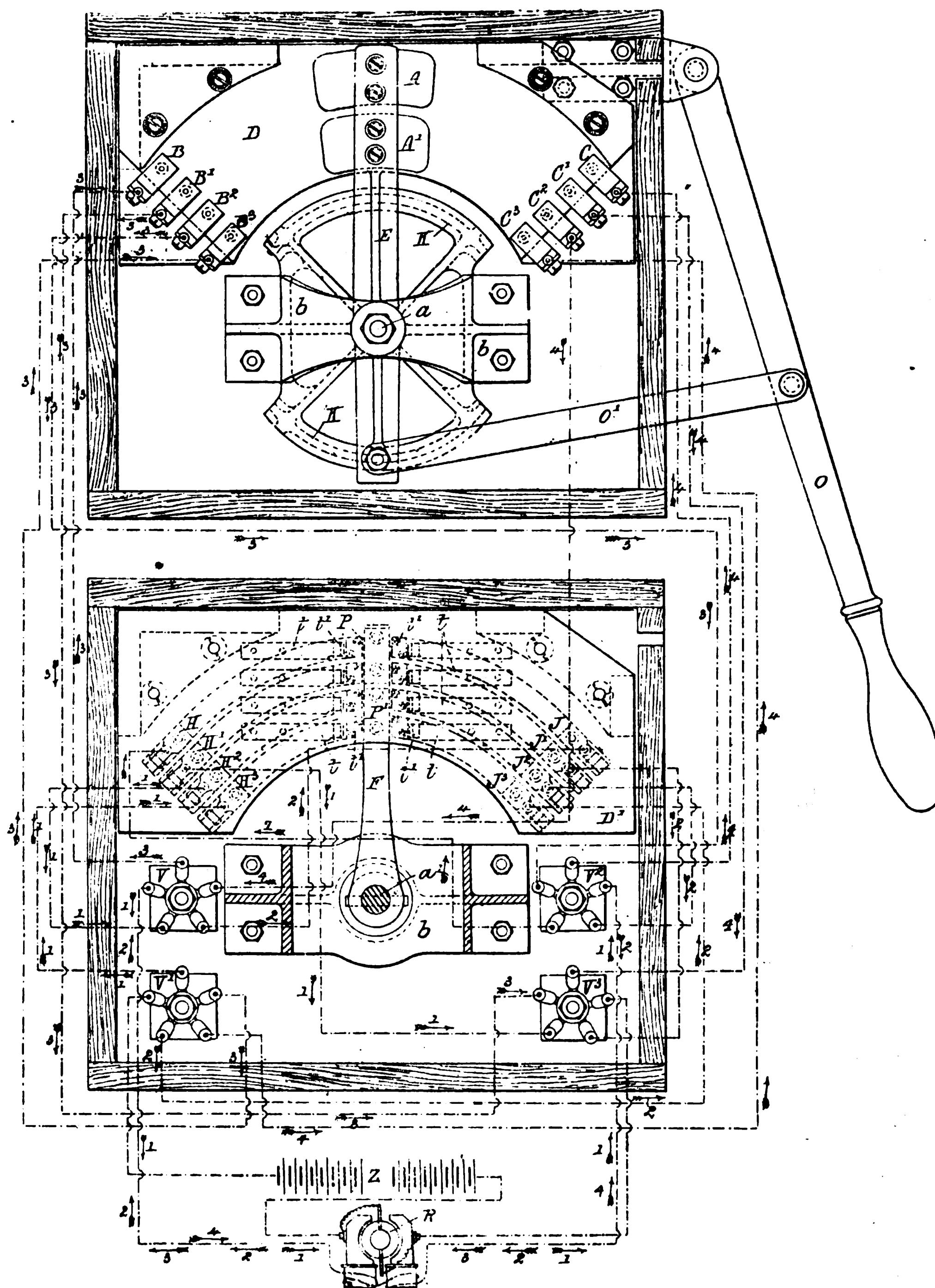


Fig. 26 et 27. — Gouvernail *King*, détail des circuits.

25 et 25_a engagées dans les coulisses 17 et 17_a (fig. 32) du quadrant 16, et sont actionnés par les électro-aimants 23 et 24_a; en outre, 25_a enclanche 17_a seulement quand le commutateur

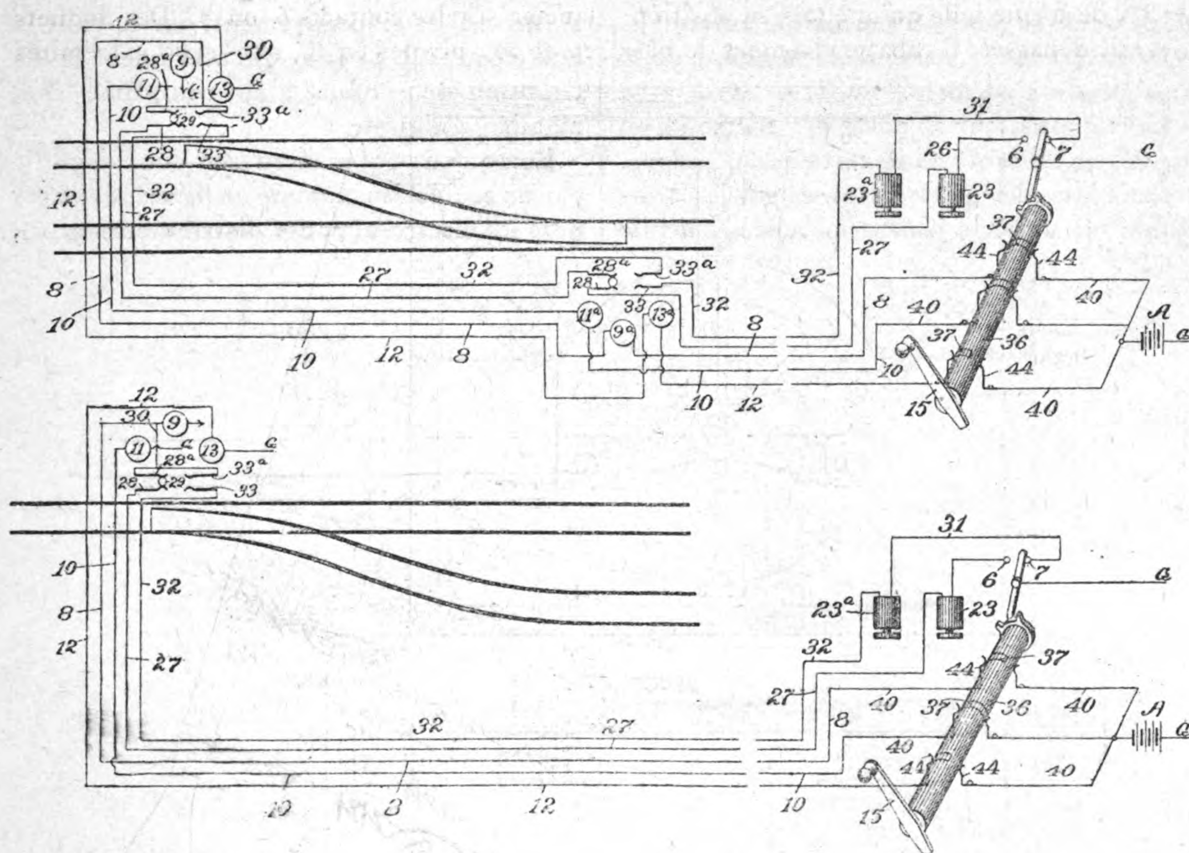


Fig. 28 et 29. — Aiguillage électro-pneumatique *Westinghouse* (1895), schéma des courants.

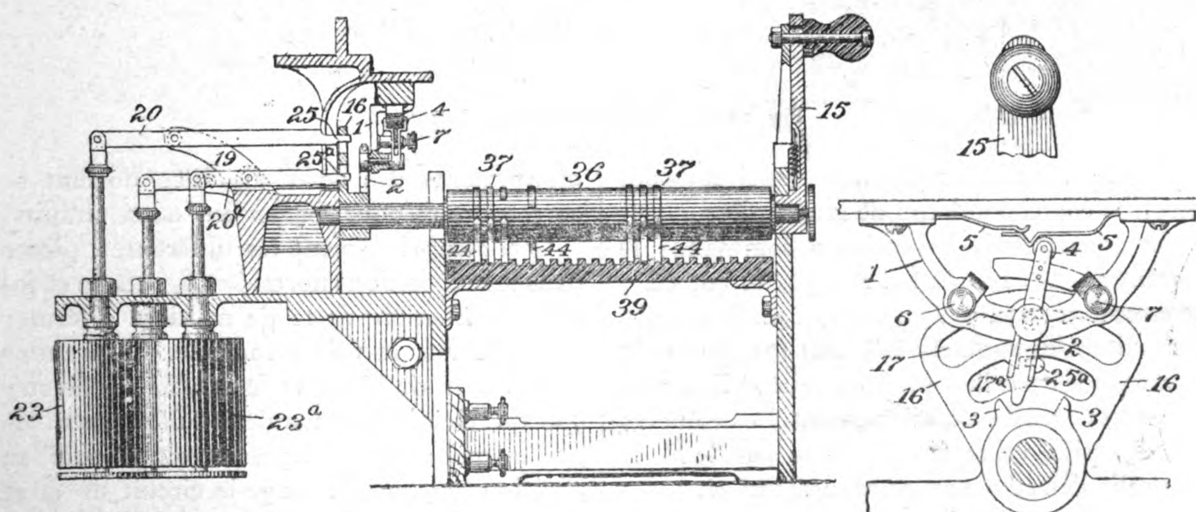


Fig. 30 et 31. — Aiguillage *Westinghouse*, manœuvre des commutateurs.

36 passe de sa position normale à l'anormale, et 25 enclanche 17 seulement au retour de 36 à sa position normale.

Le commutateur 36 porte des segments ou bandes 37 faisant, dans certaines positions, contact avec des galets disposés sur les trois bandes 40 du socle isolant 39, reliées à la pile A (fig. 29) et respectivement, par 8, 10 et 12, aux électros 9, 11 et 13 qui actionnent la distribution du cylindre à air comprimé commandant l'aiguille.

Lorsqu'on veut manœuvrer deux aiguilles par un seul levier, comme en figure 28, on dispose les électro-aimants distributeurs 9_a, 11_a,

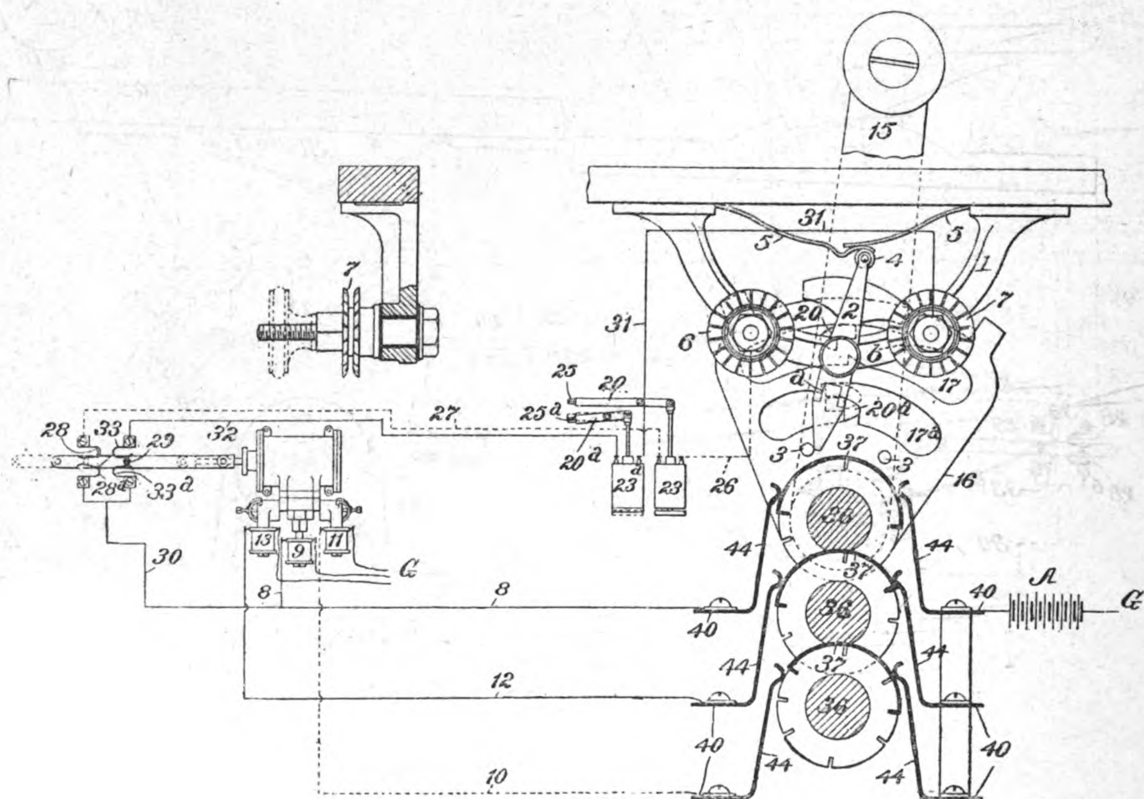


Fig. 32. — Aiguillage *Westinghouse*.

13_a de la seconde aiguille dans les circuits des électros correspondants de la première.

Le contact 6 du balancier 2 commande le circuit 26, 23, 27, 28, 29, 28_a, 30, 8, 40, et, 7 le circuit 31, 23_a, 32, 33, 29, 33_a, 30, 8, 40, circuits dont les contacts (28, 28_a) (33, 33_a) sont commandés par la touche 29, reliée à l'aiguille (28_a et 33_a, reliés électriquement. Les contacts ont à la pile, un retour commun par le fil 8, qui relie l'électro 9 au commutateur 36.

En figure 28 les contacts de la seconde aiguille sont reliés en série à ceux 28, 28_a et 33, 33_a de la première, de manière que les mouvements des deux aiguilles doivent se correspondre pour fermer les deux circuits.

Ceci compris, soient les différentes pièces dans leurs positions normales (fig. 28, 29 et 30) fermant le circuit de 11 de manière à fermer l'aiguille sur la voie principale. Le premier mouvement du levier 15 ferme (fig. 33) le circuit de l'électro 9 de manière à débloquer l'aiguille, puis aussitôt après avoir franchi sa position moyenne il coupe le circuit de 11 et (fig. 33), ferme celui de 13 qui fait l'aiguille sur l'embranchement. Pendant ces mouvements du levier 15, le circuit de l'électro

23_a qui contrôle, par le loquet 20_a, le passage du levier 15 de sa position normale à l'autre, est fermé en 7, mais rompu en 33 33_a, de sorte que 20_a reste appuyé sur l'arc supérieur de la coulisse 17_a et dans la trajectoire de son taquet *a* ; puis le mouvement de a commande de l'aiguille occasionné par la fermeture du circuit de l'électro 13 ferme comme en figure 33, par 33, 33_a, le circuit de 23_a, ce qui a pour effet de retirer 20^a de manière à permettre au levier 15 de continuer sa manœuvre. A la fin de cette manœuvre, le commutateur 36 amène le balancier 2 au contact 6.

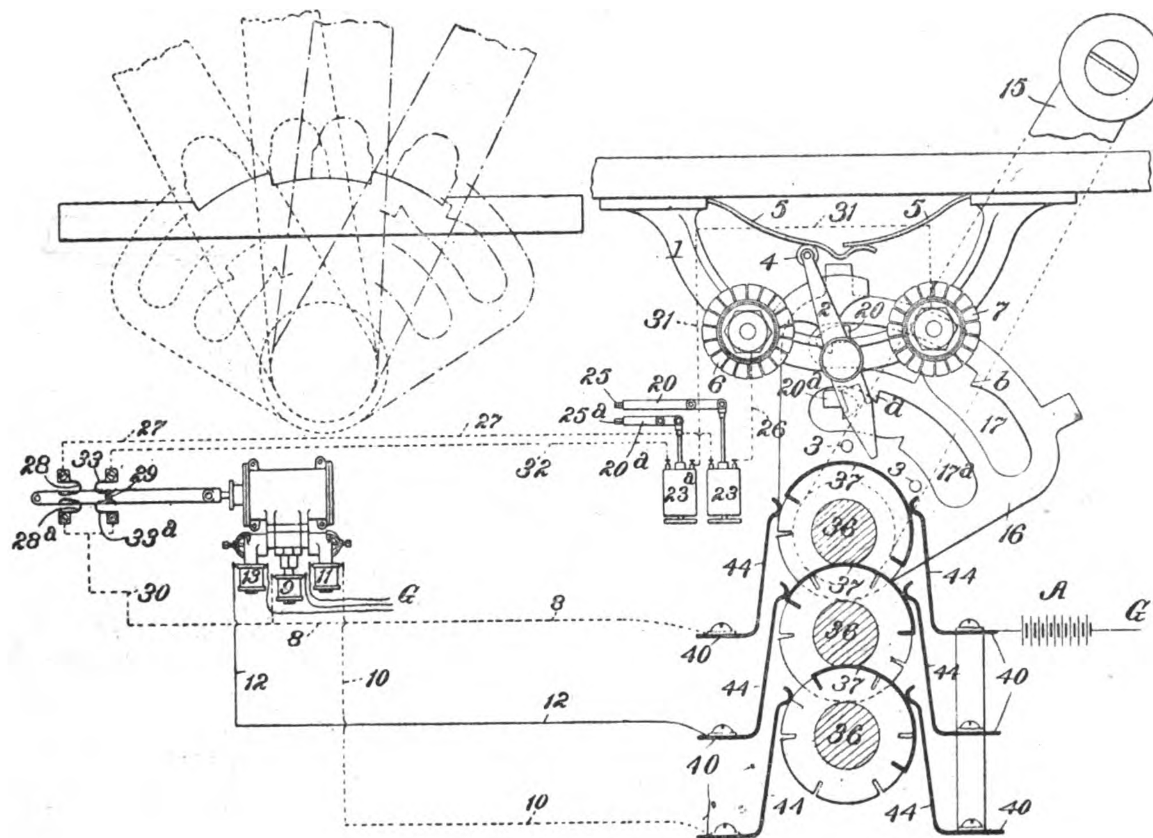


Fig. 33. — Aiguillage *Westinghouse.*

On remarquera que pendant le passage du levier 15 de sa position normale (1) à l'autre (2) le circuit de l'électro 23 est rompu et 20 déclanché du quadrant 17 dont il franchit vers le milieu de la manœuvre (fig. 32) le taquet *b*, qui empêche ensuite tout retour du levier 15 vers sa position normale (1), jusqu'à ce que 20 ait été rappelé par 23. Or, le circuit de 23 ne peut se fermer avant que 2 n'ait fermé le contact 6, c'est à dire avant l'arrivée du levier 15 au bout de sa manœuvre, dans la position (2). On voit que par cet enclanchement réciproque, les positions indiquées par le levier 15 correspondent toujours à celles réellement occupées par l'aiguille.

Nous donnerons encore comme exemple d'une installation de block système électrique aux Etats-Unis celui du *Chicago Millwaukee* et *Saint Paul Railway* représenté schématiquement par la figure 36.

L'installation comprend cinq circuits : T, pour bloquer la voie ; L, pour les électros des enclanchements K, et trois rétablisseurs R, pour refermer L après sa rupture. Toute rup-

ture de ce circuit, en B ou en D, fait que A, lachant son armature, le rompt en outre en P, de sorte qu'il faut, pour le refermer, exciter de nouveau A par une dérivation au travers du relai R de D qui complète, le circuit de M sur A par R B S. Mais comme la résistance des électros-enclancheurs K est très supérieure à celle de cette dérivation, ils ne peuvent être excités qu'après la rupture de cette dérivation, de sorte que le contrôle du circuit L échappe à l'opérateur, parce que, une fois qu'il l'a rompu, il ne peut le refermer qu'après le passage d'un train au delà de la section bloquée, définie par les relais R. Ces relais, au nombre de trois : un pour chaque voie, ont des circuits de 20 m de long ;

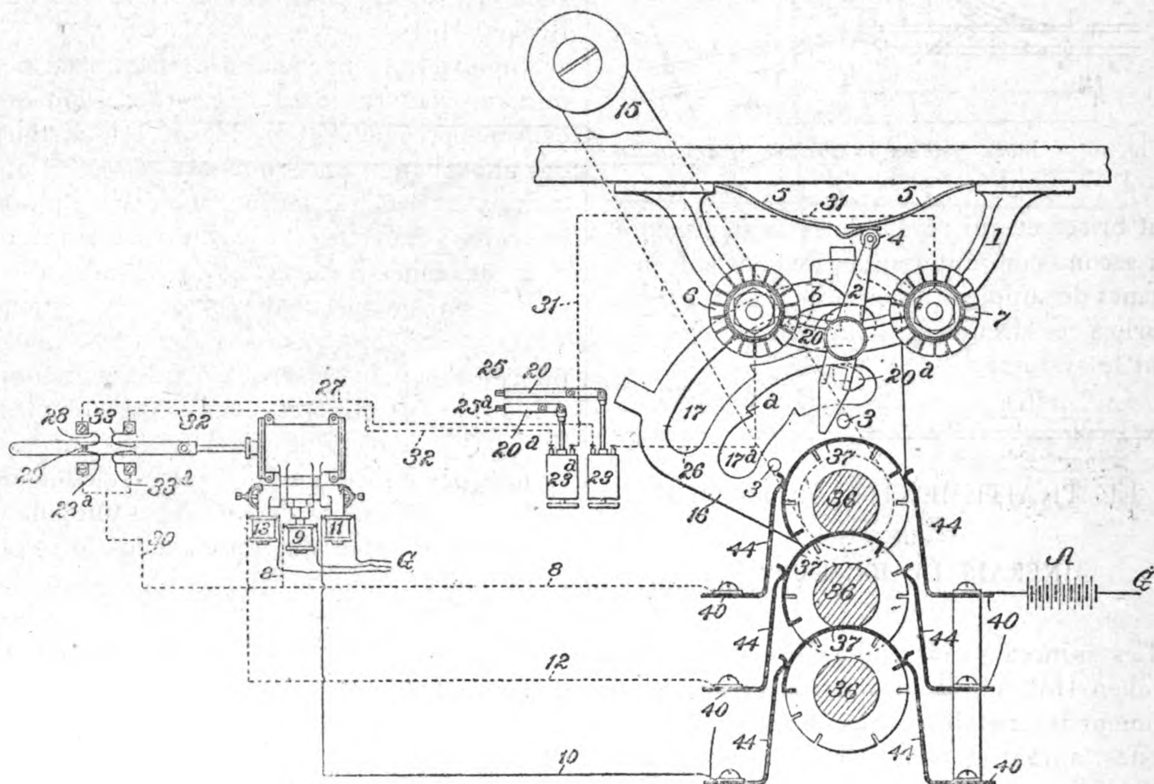


Fig. 34 et 35. — Aiguillage *Westinghouse*.

ils attirent leurs armatures tant qu'ils ne sont pas mis en court circuit par le passage d'un train. Dès que le train arrive dans une de ces sections, son relai R, lachant son armature ferme, comme nous l'avons vu, le circuit L et les enclanchements K jusqu'à sa sortie de la section.

Pour laisser passer un train, le signal mis à voie libre rompt en B le circuit L, ce qui fait tomber l'armature de A et fixe les enclanchements K, puis l'armature du relai correspondant D tombe aussitôt que le train arrive sur son circuit T, ce qui rompt encore le circuit L, et empêche l'arrivée d'un train sur l'une des voies de libérer les enclanchements avant la sortie des trains qui se trouveraient sur les autres voies. Quand le train arrive en D, l'armature de R tombe et referme L.

Si le signal est remis au danger, aussitôt que le train a franchi T, il excite D qui permet à air de fermer L en P, mais sans exciter K dès que le train arrive sur la section R, puis, R une fois franchi, il rompt sa dérivation, et le courant, passant par K, libère les enclanchements. Si l'on oublie de retourner

le signal au danger, cette libération n'aura pas lieu, et le signateur sera obligé, pour livrer passage à un second train, de manœuvrer un commutateur enfermé sous un verre qu'il

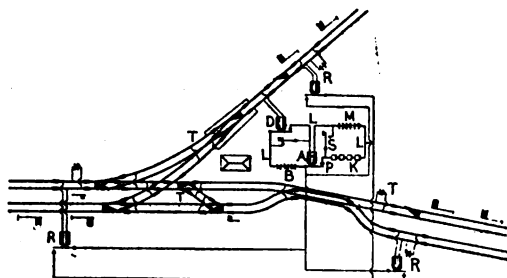


Fig. 36. — Block système de *Chicago Millewauckee*

faut briser et qui révèle ainsi sa négligence. Un second commutateur, également enfermé, permet de suppléer les circuits T en cas d'une avarie à ces circuits qui, ainsi, ne paralyse pas tout le système.

G. Richard.

LE TRAITEMENT ÉLECTRIQUE DES MINERAIS DE BROKEN-HILL

Les minerais réfractaires du district de Broken-Hill, en Australie, occupent en ce moment les métallurgistes et les électrochimistes, autant et peut-être plus que les minerais d'or ne le font, ou ne l'ont jamais fait. L'électrométallurgie entre dans une nouvelle voie ; elle a déjà fait ses preuves dans la production de l'aluminium et dans l'extraction de l'or. Elle s'attaque aujourd'hui au problème ardu par excellence de l'extraction des métaux que contiennent les minerais complexes de Broken-Hill. En 1892, on y avait extrait plus de 400 000 tonnes de minerai argentifère d'une valeur de plus de 60 millions de francs. C'était un tiers de moins qu'en 1891, parce que la baisse de l'argent et une grève de 4 mois s'étaient produites au moment où tout marchait d'une façon splendide. En 1893, la quantité d'argent qu'on tira de ces mines s'éleva à plus de 540 000 kg.

On a d'abord traité les minerais riches dans une partie du district Albert (Nouvelle-Galles du Sud). C'est ainsi qu'en 1889 le rapport officiel disait que 145 000 tonnes de plomb argentifère avaient produit 193 316 kg d'argent et 25 170 tonnes de plomb. Les bénéfices de Broken-Hill se chiffraient par plus de 150 millions de francs réalisés et distribués. C'en est assez pour donner une idée de Broken-Hill.

Aujourd'hui on cherche à tirer parti des minerais pauvres dont il existe des masses énormes presque inépuisables. C'est l'histoire des phosphates ; on commence par ceux qui contiennent 36, 38, 40 pour 100 d'acide phosphorique ; mais après les vaches grasses viennent les vaches maigres, et on retombe alors sur les phosphates pauvres qui ne contiennent que 28, 30 et 32 pour 100 d'acide phosphorique, et dont on est obligé de se contenter.

Il en est des minerais comme des hommes. Il y a plus de pauvres que de riches, mais il ne faut pas croire que les minerais de blende de Broken-Hill ne représentent pas une valeur assez considérable. Ils sont rebelles, presque intraitables ; c'est là leur seul défaut. La question à résoudre, c'est l'extraction à bon marché de l'argent, du zinc et du plomb qu'ils contiennent et qui ne valent pas moins de 250 à 300 fr la tonne, à la Central mine de Broken-Hill, où on a reconnu qu'il en existe un bloc de plus d'un million de tonnes à 200 m de profondeur. On peut accepter la composition de ces sulfures de la Nouvelle-Galles du Sud comme étant en moyenne de 30 à 35 pour 100 de plomb, 10 de fer, 25 de zinc, 10 de gangue et 20 à 26 de soufre. La teneur en argent varie de 27 à 35 et 40 onces.

Il faut renoncer à décrire les nombreux procédés auxquels les métallurgistes ont eu recours, depuis une trentaine d'années, pour arriver à séparer économiquement et aussi complètement que possible ces trois métaux de grande valeur, l'argent, le zinc et le plomb. Mais on ne peut s'abstenir d'énumérer les plus intéressants systèmes et d'en donner les grands traits. C'est tout un enseignement

que la lecture de ces mémoires dans lesquels les inventeurs ont jeté leurs idées et nous apprennent les résultats de leurs recherches. Certaines gens parlent avec mépris des brevets, et ils oublient que tout ce qu'ils admirent, tout ce qui les délecte, les enchante ou leur procure le bien-être, la lumière électrique, le téléphone, la télégraphie, etc., a été l'objet de brevets, que c'est dans les brevets qu'est l'histoire des développements des sciences, et que pour la plupart les traités scientifiques ou industriels sont faits d'emprunts faits à des descriptions de procédés brevetés, et dont les uns ont donné d'excellents résultats et sont entrés dans la pratique industrielle, tandis que les autres ont fait tout le contraire.

On peut ramener les systèmes de traitement des minerais réfractaires de plomb d'argent et de zinc aux trois catégories suivantes : 1° la *fusion* ; 2° le *grillage suivi de lixiviation et de précipitation* ; 3° le *grillage suivi de lixiviation et d'électrolyse*

Nous ne parlerons guère que des procédés dans lesquels l'électrolyse joue un rôle ; mais il est difficile de ne pas dire quelque chose des autres méthodes ; nous ne le ferons néanmoins qu'en nous efforçant de ne pas nous écarter de l'électrolyse.

Si nous considérons d'abord l'électrolyse des solutions qui ont traversé des masses de bende préalablement calcinée, nous sommes frappés de la similitude du point de départ des diverses méthodes. La blende pulvérisée et grillée est généralement transformée en sulfate ou en chlorure. Les deux procédés classiques, mais non pratiques qui sont basés sur la chloruration et la sulfatation sont ceux de Létrange et de Lambette Doucet. Ils sont décrits dans tous les livres, ce qui porterait à croire qu'ils sont exploités dans la plupart des mines de blende, tandis qu'il n'en est rien. Il est grand temps que les lecteurs d'ouvrages sur la métallurgie et l'électro-métallurgie sachent à quoi s'en tenir sur la valeur intrinsèque et industrielle de soi disant systèmes qui sont morts et enterrés depuis longtemps. Les journaux techniques sont presque toujours dans le vrai. Les livres sont invariablement en retard de plusieurs années et ne nous parlent que de méthodes qui parfois comme la rose n'ont vécu que l'espace d'un matin.

Il est absolument impossible de se dispenser de parler des moyens auxquels on a eu recours pour traiter les blendes qu'elles soient ou non de Broken-Hill.

La genèse de ce qui s'est fait pour extraire les métaux des sulfures de zinc s'impose d'une façon absolue. Seulement, nous passerons rapidement cette revue qui ne peut manquer d'être instructive ou intéressante.

Lambette Doucet attaquait la blende grillée par l'acide chlorhydrique ou par le chlore. Par lavage, il obtenait des liqueurs neutres et très concentrées ; puis, après avoir éliminé le fer au moyen de corps oxydants, tels que le chlore, l'acide nitrique, le peroxyde de manganèse, les nitrates, etc., il déposait le zinc au moyen d'anodes en charbon de cornue ou en aggloméré de peroxyde de manganèse. Ces dernières anodes n'ont pas dû lui donner grande satisfaction, vu la désagrégration de la substance agglutinante et l'énorme résistance du peroxyde. Ceci n'est encore rien en comparaison du défaut capital de l'emploi de diaphragmes poreux en papier ou en parchemin. Rien ne cède plus vite à l'action du chlore que le papier et le parchemin. Ce diaphragme poreux condamne toute la méthode quand même elle serait dix fois moins mauvaise. Se figure-t-on dans les mines l'arrangement de châssis diaphragmes étanches qui est si délicat, si difficile et leur remplacement tous les jours ou tous les deux jours. Comment se fait-il qu'à la veille du xxe siècle, il y ait encore des gens qui proposent sérieusement de pratiquer l'électrolyse dans les districts miniers avec l'aide de cloisons poreuses. Qu'elles soient en cellulose, en amiante, en terre de pipe, en ce qu'on voudra, que ce soit du zinc, de l'argent ou de l'or qu'on cherche à déposer électrolytiquement, c'est de la dé-

mence que de séparer les électrodes au moyen de cloisons poreuses qui ne peuvent être que très fragiles et n'avoir qu'une très courte durée. Les doigts des mineurs n'ont pas la fine adresse des gens de laboratoire ; le remplacement des diaphragmes est toujours long et coûteux. Arrêter le travail est une dépense parfois assez grande ; on ne s'aperçoit que rarement d'un accident aussitôt qu'il se produit sur une cloison poreuse, de là une cuvée d'électrolyte gâtée. Une fois pour toutes, il faut écouter la voix de l'expérience et renoncer à toute électrolyse de solutions métalliques dans les mines, si on ne peut se passer de diaphragme ou de septum quelconque.

Passons à Létrange qui avait beaucoup mieux compris le problème. Il transformait par grillage le sulfure de zinc en sulfate, ou la calamine en oxyde. C'est le sulfate seul qui nous intéresse, et Létrange l'obtenait en perdant le moins de soufre possible dans l'air, de façon à produire de l'acide sulfurique, qui peut être utilisé.

Par lixiviation, il avait une solution de sulfate dans des cuves électrolytiques, où le zinc se déposait sur des cathodes minces en zinc ou en cuivre, en présence d'anodes en charbon. On ne s'imagine guère à première vue combien cet arrangement est défectueux. Ceux qui, dans le temps, ont voulu se servir de charbon au pôle positif dans la construction des accumulateurs, peuvent certifier que le charbon se désagrège complètement. Les travaux de Papasogli sont dans la mémoire de tous les électrochimistes, et la seule conclusion à en tirer est que les anodes en charbon sont détruits dans une solution d'acide sulfurique. N'oublions pas, du reste que ce n'est pas petite chose que de se procurer des plaques de charbon pour traiter de grandes masses de solutions.

Létrange avait aussi imaginé l'emploi de longs bassins séparés à l'intérieur par une série de *cloisons poreuses* entre lesquelles étaient alternativement les anodes entourées de minerai, et les cathodes sur lesquelles se formait le dépôt de zinc.

Se figure-t-on ces cloisons poreuses supportant la pression du minerai ? Quel bon sens y a-t-il à proposer des diaphragmes en porcelaine, grès ou terre cuite, quand il est question de tonnes de minerai ? En laboratoire, on peut vider un compartiment rempli de minerai, sans risquer de briser le septum ; mais en admettant, chose très improbable, qu'on a pu se procurer des plaques poreuses d'un mètre carré, n'est-il pas évident qu'il y a 999 chances sur 1000 que les plaques seront presque immédiatement brisées. En outre, en admettant une autre impossibilité, celle que les plaques poreuses se comporteront bien comme solidité, ne saute-t-il pas aux yeux que ces plaques ne seront plus poreuses du tout ? Demandez-le aux métallurgistes, ils vous diront que le minerai de zinc est presque aussi horrible que les *slimes* de certaines mines d'or qui forment une boue gluante qui se colle sur les parois dont elle englue les pores et qui forment un précipité concret, dur comme du ciment.

Pour compléter cette critique, au point de vue de l'installation mal comprise, il n'est pas inopportun de rappeler les résultats négatifs constatés par Niaudet et consignés dans « l'Electrolyse » de H. Fontaine.

Le nombre des bains Létrange était de 5 ; ils étaient en tension.

L'intensité était de 75 ampères.

La f. é. m. de 13,05 volts.

L'expérience dura quatre heures et quart.

Le poids du zinc était de 1,475 kg.

On avait dépensé $\frac{75 \times 13{,}05}{9{,}81} = 99$ kilogrammètres par seconde correspondant à 4 chevaux heure pour un kilogramme de zinc. Le rendement théorique indique qu'il suffit de 2,6 chevaux libérant un kg de zinc. Avec le système Létrange il en fallait 4.

Il y a de la hardiesse dans les tentatives de Blas et Miest, comme dans celles de Lambette Doucet et de Létrange, et il ne convient

pas de les juger par les résultats décourageants auxquels elles ont abouti. On ne saurait être trop sévère vis à vis des gens qui, aujourd'hui, viendraient préconiser des systèmes aussi nuls, aussi faux que ceux-là. Mais les échecs des uns ne doivent pas décourager les efforts des autres. Seulement, il est bon qu'on sache à quoi s'en tenir sur ces prétendues inventions, attendu que le nombre des ouvrages dans lesquels on a dit la vérité à ce sujet est tellement limité qu'on peut les compter sur ses doigts.

Blas et Miest se dispensaient du grillage et de la lixiviation ; dans un électrolyte d'azotate, ils mettaient des sacs remplis de minerai sulfuré, qui leur servaient d'anodes, ou bien ils formaient des plaques positives en faisant des agglomérés de minerai, ou bien ils pulvérisaient le minerai qu'ils maintenaient en suspension dans le bain, en présence d'électrodes insolubles. Ils ont évidemment compté sans les réactions secondaires, sans les effets déplorables du dépôt de soufre à la cathode, et ils se sont laissés abuser au point de prétendre que leur bain était sans cesse régénéré et pouvait servir presque indéfiniment. Nous ne nous préoccupons pas des théories qui peuvent appuyer ou combattre tel ou tel système ; notre objet n'est que de démontrer les contre-sens commis dans ces essais d'électrolyse des minerais, afin que ceux qui ne connaissent pas ces choses-là, et il y en a bien peu, parmi les lecteurs de « l'*Éclairage Électrique* », sachent bien qu'on ne constitue pas une anode en remplissant un sac de toile grossière avec du minerai, attendu que la pression des grains de la blende est insuffisant pour former un contact convenable. En outre, il n'y a absolument rien d'industriel dans cette électrolyse au moyen de minerai dans des sacs, puisqu'on ne pourrait jamais savoir quand tout le métal serait déposé. Le remplissage et le vidage des cuves sont impraticables, dans ce système, à cause des manipulations coûteuses. Les agglomérés de minerai au pôle positif sont absolument condamnables, et le moins on parlera de cette méthode le mieux ce sera. Respect aux morts. Les exemples de systèmes vicieux, établis sur des bases fausses, qui n'ont jamais existé, n'ont jamais été appliqués, qui ne sont ni exploités, ni exploitables, sont remarquablement nombreux dans l'électrométallurgie. Presque tous n'ont été travaillés que dans des laboratoires, et on ne s'imagine pas la différence qui sépare ces résultats en petit, de ceux qu'on peut obtenir en grand. Quel est l'électrochimiste qui, s'il le veut, ne fera pas des choses merveilleuses en laboratoire ? Mais donnez-lui deux ou trois tonnes de matériaux à traiter, et on verra apparaître des facteurs inconnus ou négligés qui font tomber le système à rien. C'est pour ne pas avoir visé à la possibilité des applications pratiques que tant de travailleurs ont perdu leur temps à élaborer et à échafauder des projets irréalisables dans les districts miniers.

Avant de pousser plus loin cette revue des divers appareils électrochimiques à l'aide desquels on espérait extraire les métaux qui se trouvent dans les minerais de blende, voyons comment ont procédé les métallurgistes et les chimistes.

Ces derniers ont tout d'abord cherché quels étaient les agents dissolvants du zinc. Un homme qui a rendu beaucoup de services à la chimie et à la galvanoplastie, Napier avait été le premier à signaler dans le *Philosophical Magazine* de 1844, la solubilité des métaux dans le persulfate et le perchlorure de fer. Plusieurs chimistes ont profité de ces indications, non seulement pour le zinc mais pour d'autres métaux, — Herrenschmidt, par exemple, faisait bouillir le minerai dans une solution de protochlorure de fer, pour en dissoudre les métaux qu'il précipitait ensuite.

C'est pour mémoire seulement qu'il convient de citer l'emploi des acides pour dissoudre les métaux. Il est, en effet absolument déraisonnable de penser à se servir d'acides toujours très coûteux dans les mines, très difficiles à transporter et auxquels on ne peut jamais recourir dès qu'il s'agit de centaines et de milliersde tonnes de minerai.

Après Franceschi, Rivot, Commens et autres, Nimelmons a eu recours à la vapeur d'eau, mais rien n'est sorti de ces expériences ; Schischkar et Krafft ont pris des solutions d'ammoniaque caustique: la Société de Monteponis a fait passer de la vapeur puis de l'ammoniaque dans des chambres contenant des minerais préalablement grillés ; Parodi et Mascazzoli ont donné la préférence au sulfate et au chlorure ammoniacaux. Sans déprécier ces moyens ingénieux, nous devons dire que nous ne voyons pas qu'ils aient mieux réussi que les autres. On a beaucoup cru à une époque aux bons effets de la soude caustique fondue ou en dissolution ; mais il a fallu beaucoup en rabattre.

Après ce maigre aperçu des ressources de la chimie il reste à parler de la métallurgie, qui certes n'est pas restée oisive et a donné d'innombrables preuves de l'énergie de ses travailleurs, de leur ingéniosité et de leur savoir. Mais elle n'a pas obtenu avec la blende, les brillants succès qu'elle a conquis avec d'autres métaux.

De n'importe quel pays qu'elle provienne, la blende est toujours difficile à traiter, mais il n'en est pas de pire que celle de Broken Hill dont nous allons avoir à parler.

On a conseillé de griller le minerai pulvérisé jusqu'au moment où sa teneur en soufre n'excède pas 2 pour 100, puis d'en faire un aggloméré au moyen de chaux comme flux et de le fondre avec du coke ou du charbon de bois, dans des fourneaux à large ouverture. Ce moyen qui est adopté dans beaucoup de mines américaines permet de traiter de grandes quantités de minerai avec profit, mais il offre le désavantage de laisser partir dans l'air une très forte proportion de zinc volatilisé. Malètra a suggéré l'emploi du bi-sulfate de soude dans des conditions spéciales peu applicables aux fourneaux à minerai et plutôt appropriées aux métaux. Hannan a fait chauffer la blende mélangée à des rognures de fer ou à de l'oxyde de fer et du charbon. Les ouvrages relatifs à la métallurgie du zinc sont pleins des descriptions de méthodes par procédé sec, c'est à dire par fusion des minerais de zinc, mais ce qu'on n'y trouvera pas, c'est le procédé connu sous le nom de Burnham et dont on dit beaucoup de bien dans certains clans et beaucoup de mal dans certains autres. Il a fait ses preuves dans le pays de Galles où on a installé une usine expérimentale, mais il n'est pas encore exploité dans les mines, et il faut ajouter qu'on ne s'est pas encore décidé à l'y exploiter, attendu qu'on semble préférer envoyer à Swansea tout le minerai pour l'y faire passer dans les fourneaux d'une usine capable de traiter 100 000 tonnes par an.

Si nous ne parlions pas des promesses que fait ce procédé métallurgique du syndicat Burnham, on ne se rendrait pas un compte même approximatif de l'avenir auquel peuvent aspirer les électrochimistes qui s'occupent de ces sulfures de zinc australiens. On estime qu'il y a plus de 20 millions de tonnes de blende dans la Nouvelle-Galles du Sud. Rien qu'à la mine de la *British Broken Hill Proprietary C°*, on a reconnu des masses de minerai de plus de 200 000 pieds cubes. Evaluez la tonne à 190 ou 200 fr et calculez les bénéfices qu'on peut attendre alors que l'extraction revient à 12 fr la tonne et le traitement à 32 ou 35 fr.

Quoi qu'on puisse dire, il paraît à première vue que la valeur intrinsèque de cette blende en zinc, plomb et argent est plus que suffisante pour supporter les frais de concentration et de transport en Angleterre. Mais il ne faut pas oublier que le frêt d'Australie est très élevé, qu'il est inutile de songer à récupérer tout le zinc, et même tout l'argent, et qu'il serait peu sage de ne pas prévoir des désappointements, des contre-temps et une réduction dans les profits prévus.

Le procédé Burnham est fondé sur un grillage qui fait partir une grande proportion du soufre de la blende ; on agglomère en grosses masses dans un four à reverbère, puis on fait fondre le minerai mélangé à des flux très puissants, le sulfate de soude et l'oxyde de fer, et au combustible lui-même dans des fours à

coupelle. On obtient ainsi un jet d'or, d'argent, de plomb, de zinc dont la matte est facile à vendre aux affineurs. S'il est vrai qu'on arrive à de tels résultats au prix de 32 fr par tonne, on ne peut que s'incliner, car même avec une valeur de 150 fr seulement par tonne, la réduction de la blende de Broken-Hill serait très rémunératrice.

(*A suivre*) E. ANDRCOLI.

ACCUMULATEURS BOESE

Ces accumulateurs, déjà décrits par notre collaborateur, M. G. Richard, dans la *Lumière Électrique* du 8 juillet 1893 (t. XLIX, p. 32), d'après les brevets qui datent de la fin de 1892, ont pris dans ces dernières années une très grande extension à l'étranger, principalement en Allemagne. Quatre usines importantes, aujourd'hui en plein fonctionnement, ont successivement été installées à Vienne, Budapest, Augsbourg et Berlin pour leur fabrication, et tout récemment une cinquième usine a été montée à Paris dans le même but. Cette rapide extension ne pouvait être que corrélative d'avantages particuliers de ces accumulateurs, avantages qu'il importait de faire connaître au moment où l'emploi des accumulateurs se généralise dans les stations centrales, soit pour régulariser le débit, soit pour venir en aide aux génératrices, et où la traction par accumulateurs est à la veille de prendre un très grand développement. Grâce à la complaisance de M. A. Dinin, ancien élève de l'École centrale, directeur de la nouvelle usine de Paris, nous avons pu nous en rendre compte.

Rappelons tout d'abord la fabrication de ces accumulateurs.

Pour obtenir les plaques positives on forme une pâte avec du minium et de l'alcool contenant en dissolution des résidus de la distillation du goudron, en particulier de l'anthracène; on étend cette pâte dans l'espace limité par un cadre rectangulaire en plomb dur qui servira plus tard de conducteur au courant, et on porte à l'étuve pour évaporer l'alcool. Les plaques négatives sont obtenues de la même manière à cela près que le minium est additionné de litharge.

Après cette dessication, les plaques ont assez de résistance pour pouvoir être transportées, mais le moindre choc suffit pour les réduire en poussière. On procède alors au durcissement que l'on obtient en immergeant les plaques pendant quelque temps dans l'acide sulfurique étendu. Que se passe-t-il pendant cette opération ? C'est ce qu'il serait assez difficile de dire. Suivant l'inventeur, il y aurait réaction de l'acide sulfurique sur l'anthracène et formation d'acide sulfo-anthracénique auquel serait dû le durcissement. Quoi qu'il en soit de l'explication, le résultat, qui seul importe dans la pratique, est tangible : la plaque, sans aucune résistance avant son immersion dans l'eau acidulée en sort avec une très grande dureté, au point de rendre un son métallique lorsqu'on la frappe et de ne pouvoir être cassée avec les mains dès que son épaisseur atteint 6 ou 8 millimètres. Malgré cette dureté la plaque est très poreuse et quelques gouttes d'eau jetées sur sa surface sont immédiatement absorbées sans qu'il reste d'humidité apparente.

La formation des plaques se fait suivant le procédé ordinaire, en faisant passer un courant convenablement réglé dans ces plaques plongées dans l'eau acidulée. Par suite de la porosité des plaques, les gaz s'échappent facilement et après l'opération, les positives sont presque entièrement formées de peroxyde de plomb très poreux et les négatives de plomb spongieux ; elles ont conservé la même dureté et la même résistance au choc et, lorsqu'elles sont humides, elles ont à peu près la même conductibilité que le plomb métallique.

Par suite de ce mode de fabrication, les inconvénients que présentent les accumulateurs à oxydes rapportés sont évités.

En premier lieu, la suppression du grillage comme support et son remplacement par de

la matière active permet d'obtenir une grande capacité spécifique, capacité encore augmentée par ce fait que, par suite de la grande porosité de cette matière, la presque totalité de la plaque participe aux réactions électrolytiques pour l'épaisseur maximum de 8 mm qu'on lui donne. Cette capacité atteint facilement 20 ampères par kilogramme de plaques pour un courant de décharge de 1 ampère par kilogramme de plaques.

En second lieu, il n'y a pas à craindre que des secousses répétées fassent tomber la matière active ou ne provoquent de mauvais contacts avec le support, ainsi qu'il arrive souvent dans es accumulateurs à oxydes rapportés ; en outre, à cause de la grande porosité des plaques, il n'y a pas à tenir compte du foisonnement.

Enfin, les chances de décharge en circuit ouvert sont réduites au minimum par suite de a disparition presque complète des actions locales qui se produisent dans les plaques hétérogènes et de l'absence de dépôts au fond des bacs. En fait, on a constaté que des accumulateurs destinés à la télégraphie avaient conservé leur charge presque complète huit mois après avoir été chargés.

Après leur formation, les plaques n'ont plus qu'à être montées dans les récipients destinés à les contenir et qui peuvent être en verre ou en bois doublé de plomb. A l'origine, les récipients de ce genre étaient seuls employés. Dans les derniers modèles d'accumulateurs transportables, on a pris des vases en celluloïd. C'est là un perfectionnement très important, ces récipients étant en moyenne dix fois plus légers de ceux de verre, tout en ayant une transparence presque aussi grande que ceux-ci et l'avantage d'être beaucoup moins fragiles. Tout d'abord, on a rencontré quelques difficultés à les rendre inattaquables par l'eau acidulée, mais cette difficulté est aujourd'hui surmontée et un outillage perfectionné permet leur production rapide avec des formes exactes et régulières.

Signalons encore une propriété que les accumulateurs Boese possèdent au plus haut degré ; c'est celle d'avoir leur capacité considérablement augmentée lorsque la décharge est effectuée en plusieurs fois ; cette augmentation peut atteindre 40 et 50 pour 100 de la capacité en décharge continue.

Parmi les applications qui ont été faites de ces accumulateurs, nous citerons l'éclairage des wagons postaux des lignes allemandes et hongroises qui utilise aujourd'hui près de 20 000 accumulateurs et la batterie de la station centrale de Stettin qui comprend 134 éléments de 4 600 ampères-heures de capacité.

Dans l'application à l'éclairage des wagons postaux en Allemagne, les éléments, suivant le rapport de M. le secrétaire privé Pohl, publié en 1895 dans les « Archiv fur post und Telegraphie », comprenaient 9 plaques de 0,10 m × 0,14 et d'une épaisseur de 8 mm.

Le poids de l'élément complet était de 11 250 kg poids qui est réduit actuellement à 10 kg par l'emploi du récipient en celluloïd.

Les éléments étaient réunis par 4 dans une caisse de bois pour faciliter le maniement. Le poids de la caisse était de 52 kg, réduit actuellement à 46 kg.

En général on emploie une batterie de 16 éléments et les conditions de fonctionnement sont les suivantes :

Poids d'une batterie de 16 éléments (4 × 46)	184 kg
Poids d'une plaque négative . .	674 gr
» » » positive. . .	700 gr
Nombre de plaques de chaque élément.	9
Courant de charge et de décharge	6 ampères
Capacité	120 ampères heures
» pour 1 kg de plaques . .	19,449 amp.heure
Poids de la batterie par ampère heure.	1,533 kg
Force électromotrice d'un élément au début.	2,1 v
Force électromotrice d'un élément à la fin	1,75 v
Force électromotrice d'un élément en moyenne.	1,925 v
Puissance de la batterie	3 696 watts heure

Quant à la durée de l'accumulateur elle est telle que l'inventeur a pu donner une garantie

absolue de 1 an 1/2 et s'engage à remplacer ensuite les plaques usées pour environ la moitié de leur prix primitif.

Il est à remarquer qu'il s'agit ici de plaques de 8 mm d'épaisseur assurant une très longue durée et une solidité exceptionnelle nécessitée par le dur service que les accumulateurs ont à supporter. Mais il est possible d'obtenir la même capacité avec des plaques de 6 mm seulement d'épaisseur et le poids de l'élément se trouve réduit de 10 kg à 7,700 kg. On arrive facilement alors à une capacité de plus de 25 ampères-heures par kg de plaques.

Quant au rendement, dans des expériences

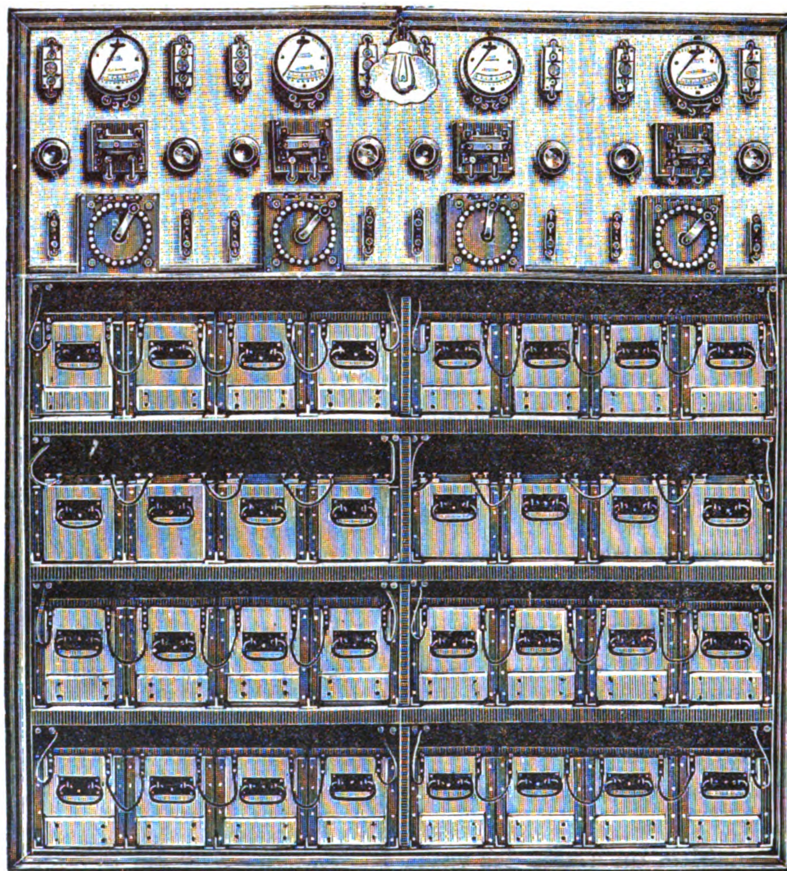


Fig 1. — Vue de la salle de chargement des batteries d'accumulateurs Boese de la gare de Silésie, à Berlin.

de date toute récente faites sur les chemins de fer d'État hongrois, il a été reconnu en moyenne de 97,15 pour 100 avec une chute de potentiel de 7 pour 100.

Le chargement des accumulateurs des wagons postaux s'effectue dans des stations spéciales installées dans les gares terminus. Les unes sont alimentées par le courant de la ville, les autres par des installations particulières.

A la gare de Silésie en particulier, à Berlin, la station comprend 2 machines à gaz de 16 et 10 chevaux-vapeur avec 2 dynamos de 140 et 75 ampères à la tension de 90 volts.

Les accumulateurs sont chargés par séries de 32 éléments et nous donnons en figure 1, une vue d'une partie de la salle de chargement.

On y voit les étagères sur lesquelles sont disposées les batteries et au dessus le tableau muni pour chaque série d'un ampère-mètre, d'un disjoncteur automatique, d'une résistance de réglage ainsi que de plombs de sûreté et d'un bouton de contact communiquant au voltmètre unique pour tous les circuits.

Quant au prix de revient de l'éclairage il a été trouvé, en comptant le courant de charge à 0,20 fr le kilowatt, les lampes de 12 bougies chacune et d'une durée moyenne de 200 heures à 1,25 fr ; que la lampe-heure revient à environ 1 centime. Au prix de 30 centimes le kilowatt la lampe heure revient à 1,3 cent.

En comptant pour l'amortissement : 20 pour 100 pour les batteries, 10 pour 100 pour les stations de chargement et 6 pour 100 d'intérêt, l'économie sur le gaz d'huile ressort à 21 pour 100, ce dernier étant compté au prix de 1,25 fr le mètre cube.

Les accumulateurs de la station de Stettin sont du type dit stationnaire.

Les accumulateurs stationnaires sont constitués identiquement de la même façon que les transportables et n'en diffèrent que par les dimensions et le poids des plaques.

Ils supportent des décharges très rapides, en 3 heures par exemple, sans aucune détérioration.

Bien entendu la capacité s'en ressent sensiblement.

De plus, les très grandes plaques étant construites d'une façon très robuste et la prise de courant devant être capable de supporter le courant très intense fourni par l'élément, la capacité n'atteint pas les chiffres que nous avons donnés pour les transportables, tout en restant encore très avantageuse en égard à la solidité remarquable de la plaque.

Il est construit divers modèles d'accumulateurs stationnaires.

Voici les chiffres relatifs à un élément de 25 kg de plaques :

Durée de la décharge en heures	Capacité en ampères heures	Intensité du courant de décharge en ampères
3	138	45,9
5	180	36
7	198	28,2
8	211,2	26,4
10	230	23

Voici ceux qui se rapportent à un accumulateur de 119 kg de plaques.

Durée de la décharge en heures	Capacité en ampères heures	Intensité du courant de décharge en ampères
3	507	169
5	650	130
7	728	104
8	754	94,3
10	780	72

On voit par ces chiffres que les accumulateurs stationnaires ont, aussi bien que les transportables, une capacité élevée. Les uns et les autres possédant, comme il résulte des applications déjà faites, de grandes garanties de durée, leur avenir industriel paraît assuré.

J. Reyval.

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Compteur chrono-électrique Wirth (1895).

L'élément indicateur de cet appareil consiste en deux solénoïdes courbes B B, dont les armatures en fils de fer *a a* attaquant un arbre *c*, à contre-poids *b*, dont les extrémités reposent, afin d'en réduire le frottement, sur deux bras *c*, *c*, conjugués par un axe *c'*, à palier c_2 isolé en c_3. Des collets C' C' maintiennent longitudinalement cet arbre.

Le moteur chrono-électrique se compose d'une pendule D, à contre-poids e_1, dont le manchon F (fig. 6) enfilé sur l'arbre F et roulant sur un réducteur de frottement $h\,h_2\,h_3$, porte une touche *f*, en prise avec le contact f_1 (fig. 5) pivoté en f_2, et que son contre-poids f_3 tend à soulever. Ce levier est d'autre part, sollicité en f_4 (fig. 4 et 5) par un poids *g*, faisant dash-pot dans un cylindre G : une soupape g_1, de rentrées d'air, laisse ce poids s'élever librement, mais en amortit la descente, et *g* est assez lourd pour appuyer f_1

sur f malgré f_3. Quand ces contacts sont fermés, le courant qui passe dans les électros E attire, malgré le contre-poids D_2, les armatures $d_1 d_1$ de D, dont la came F soulève $f f_1$; puis, au retour du pendule, F f lachant f', le contact s'ouvre et rompt le circuit de E, ce qui permet au pendule d'effectuer la totalité de son oscillation de retour.

L'arbre F_1 porte, à l'une de ses extrémités

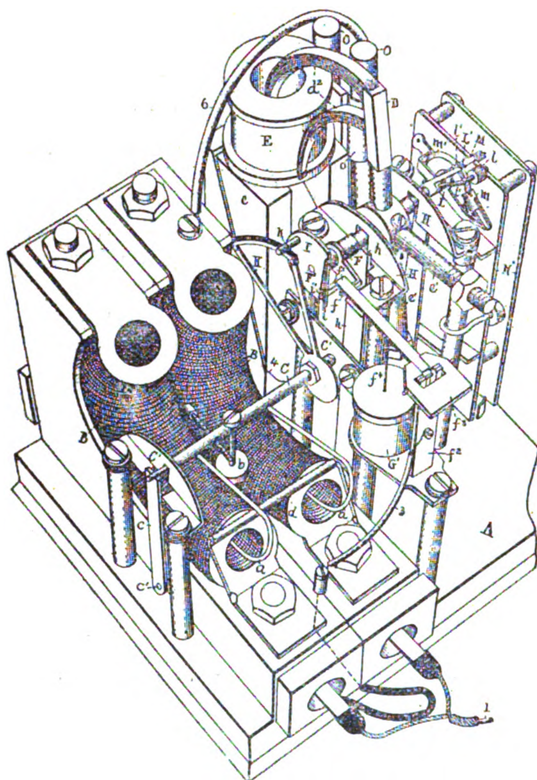
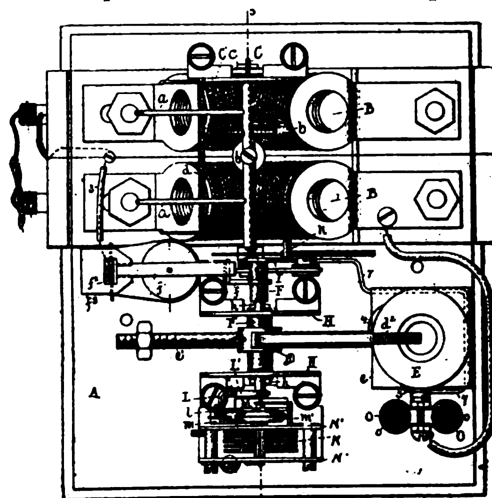


Fig. 1.—Compteur chrono-électrique *Wirth* (1895).

un plateau I, avec ressort i, que le bras f entraîne par sa projection i', (fig. 1 et 5) ; ce système établit entre F et F_1 une liaison flexible, par laquelle F entraîne F_1 jusqu'à son arrêt en k par la came K de C, puis continue son mouvement sans choc. L'amplitude des oscillations de F_1 est donc, à chaque instant, réglée par le courant en B B.

L'arbre F_1 porte, à son autre extrémité, un bras flexible L, avec touche isolante l, et dont on peut régler très exactement le calage par la vis l' du bras rigide L_1, également fixé sur F_1. A chaque oscillation de F_1, l repousse la



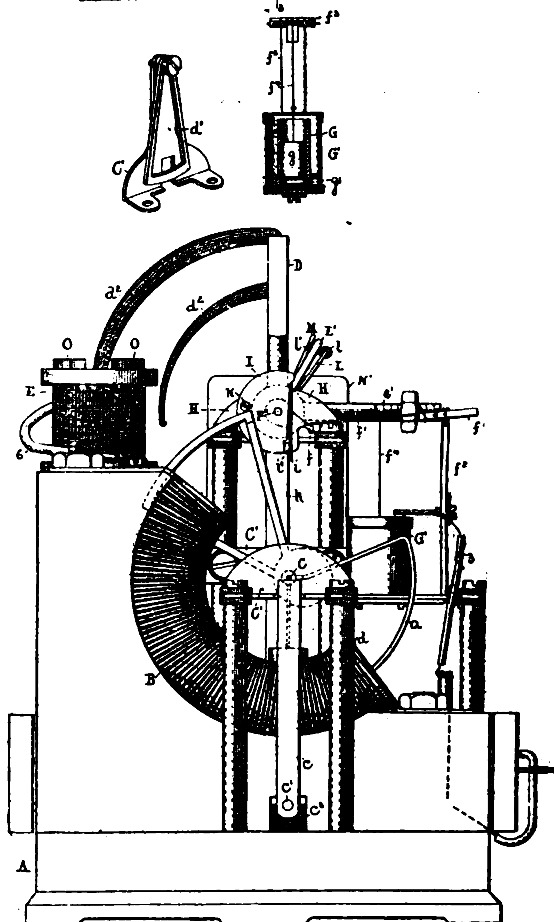


Fig. 2, 3 et 4.— Compteur chrono-électrique *Wirth* (1895)

manivelle M qui par un embrayage à friction m, attaque la première roue m_1 du compteur

N. Au repos, la position de K est telle qu'il ne se produit ainsi aucun mouvement de m,

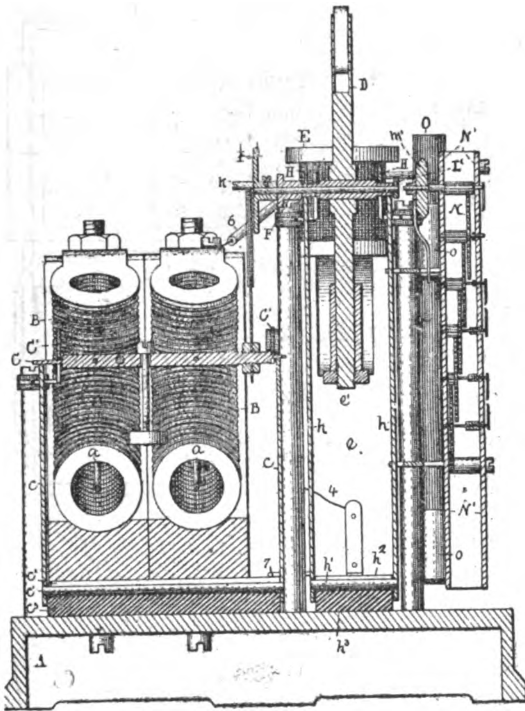


Fig. 6. — Compteur chrono-électrique *Wirth* (1895)

puis l'amplitude de ce mouvement augmente avec l'intensité du courant en E. A chaque

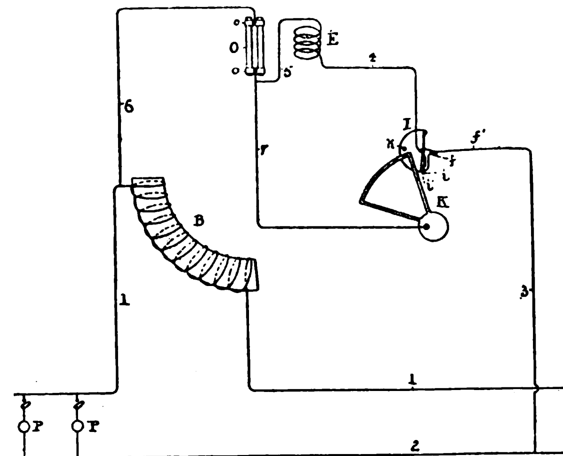


Fig. 7. -- Compteur chrono-électrique *Wirth* (1895).

oscillation, le contact arrêt de k sur K rompt le circuit principal de E. ce qui permet au pendule de reprendre librement son retour, et cette rupture se fait, grâce à la liaison flexible de F et de F_1, par I, sans étincelles, comme on le voit par le schéma (fig. 7), qui représente le montage du compteur sur un circuit à deux fils 1 et 2, avec une seule bobine B et rhéostat O. Le courant est coupé d'abord de E par ff_1, la dérivation sur E par 7 O et K k restant fermée, puis cette dérivation se coupe sans étincelles par la séparation de k.

Le schéma (fig. 8) indique l'application du

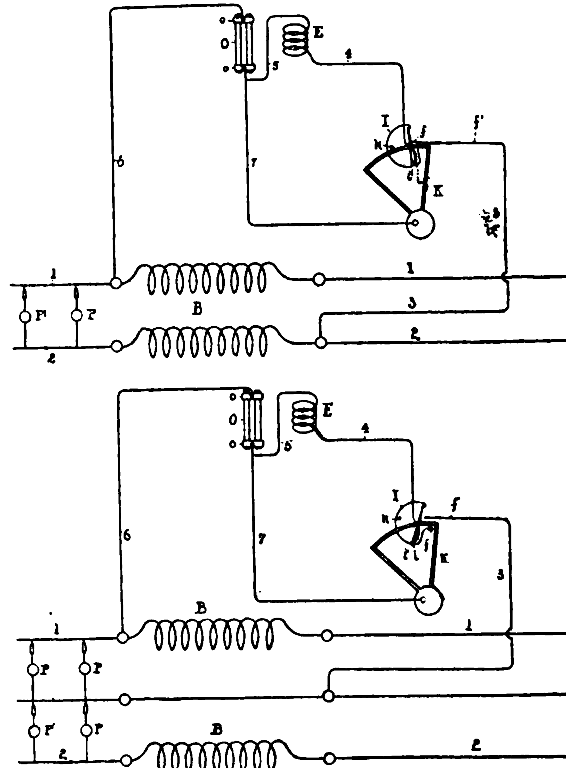


Fig. 8 et 9. -- Compteur chrono-électrique *Wirth* (1895).

compteur à un circuit à 3 fils ; l'une des deux bobines B est intercalée dans le conducteur principal 2. La position du plateau I est indiquée telle que les électros E soient coupés du circuit par le contact de K sur k, avec le ressort i écarté de I par i_1 et le pendule prêt à partir pour son retour en séparant f de f_1, avant que k ne quitte K, de manière à éviter les étincelles.

Enfin, en figure 9, le compteur, spécialement modifié pour les circuits à 3 fils, à la dérivation 3-6 de E intercalée entre le conducteur neutre du circuit à 3 fils et le conducteur extérieur principal 1. La came K est représentée dans la même position qu'en

figure 8, et le disque I au commencement de l'aller du pendule ; f, arrivant au contact de f_1 avant que k n'arrive sur K, ferme le circuit de E, et donne une nouvelle impulsion au pendule. G. R.

Compteurs Shallenberger (1895)

Les figures 10 à 13 représentent l'application de ce compteur à la mesure de courants biphasés décalés l'un de l'autre d'un quart de période et transmis par un circuit à quatre fils 1, 2, 3, 4.

La bobine inductrice A (fig. 1) en fils fins est dérivée par 5 — 6 (fig. 10) sur 3 — 4 tandis que les deux autres bobines inductrices B et B', à gros fils, reliées entre elles en quan-

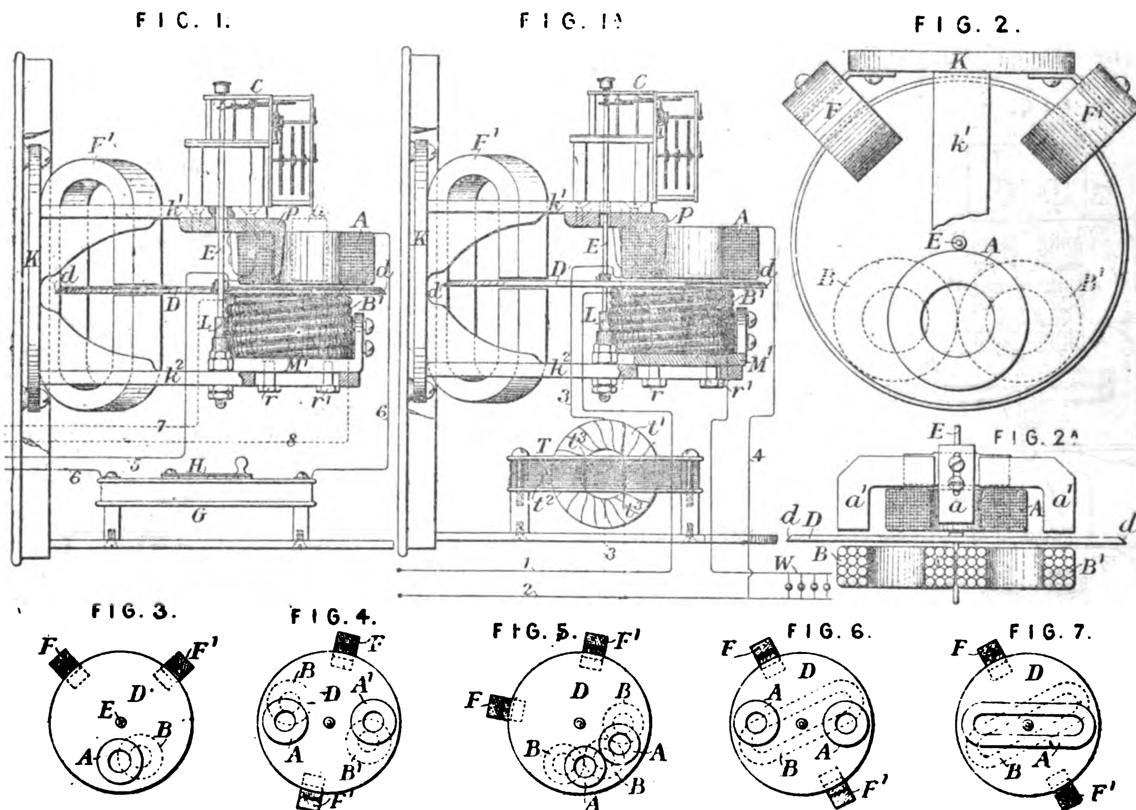


Fig. 1 à 7. — Compteurs *Shallenberger* (1895).

tité ou en série, sont montées en série par 7 — 8 sur le circuit 1, 2. Le chassis K k^1 k^2 maintient la bobine A par une pince ajustable p, et les bobines B B_1 le sont par une plaque M_1, dont l'orientation sur k^2 se règle par les vis à coulisse r r_1. Entre ces bobines A et B tourne un disque d'aluminium D embouté en d pour en augmenter la rigidité, et calé sur l'arbre E du compteur C, porté par un pivot d'agate E. Le disque D tourne aussi entre les pôles des aimants permanents F et F', calculés de manière à opposer à la rotation du disque une résistance assez forte pour que sa rotation soit lente par rapport à celle correspondant au synchronisme. Enfin un rhéostat G, relié en série à A, permet de régler par sa manette H l'intensité du courant en A. Les bobines A B et B' sont disposées de manière que les courants induits en D par A soient dans le champ de B B', et réciproquement, et que les courants de B et de B' s'ajoutent pour faire tourner D.

On peut faire varier de bien des manières la forme et les positions relatives des bobines A B et B', ainsi que l'indiquent les figures 3 à 7, où l'on a représenté en pointillés les bobines B et B' et en traits pleins la bobine A.

En fig. 8, l'arbre du compteur porte, outre le disque d'aluminium D^2, à aimant F', un second disque, à jante de fer doux D', tournant dans la bobine A, enveloppée par B et B'.

En fig. 9, l'anneau D' du type précédent est remplacé par une enveloppe D^3.

Afin de pouvoir mesurer avec un même compteur des courants de fréquences différentes, on intercale dans le circuit de A (fig. 10) un rhéostat G, gradué suivant ces différentes périodicités ; et l'on peut obtenir le même résultat en faisant varier les positions relatives des bobines ou par l'addition d'armatures en fer *a* (fig. 1).

Si les énergies des deux courants en quadrature sont les mêmes ou proportionnelles un seul compteur suffit, comme en fig. 10, mais si elles sont inégales et indépendantes, il en faut, comme en fig. 11, deux, Y et Z, les bobines en série de Y et celles en dérivation

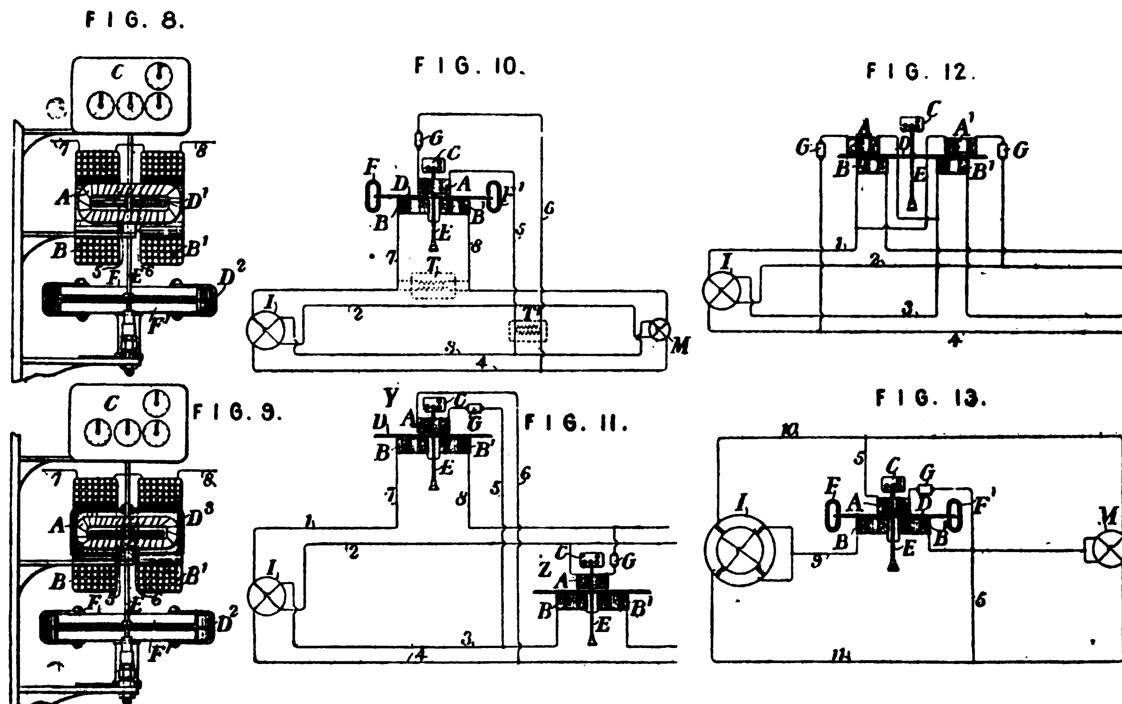


Fig. 8 à 13. — Compteurs *Shallenberger* (1895)

de Z étant reliées au premier circuit 1 — 2, et de même pour 3 — 4 aux bobines sériées de Z et dérivées de Y.

En fig. 12, le compteur unique est pourvu de deux paires de bobines A B, A' B', disposées comme en fig. 4 : B en série avec 1 — 2 et A en dérivation sur 3 — 4, dont les forces électromotrices sont à peu près égales à celles de 1 — 2, et à 90° de ces forces, de sorte que les couples de rotation produits par A B et A' B' sont sensiblement indépendants et respectivement proportionnels aux énergies des circuits 1 — 2 et 3 — 4, et que le couple résultant est proportionnel à la somme de ces énergies. Les bobines A et A' B et B' doivent être disposées de façon que des courants diphasés en A A' ou en B B' seulement ne produisent aucun effort de rotation, dont la résultante serait proprortionnelle, non à l'énergie totale des deux circuits, mais à la somme des produits des énergies en A et A' B et B'.

La fig. 13 représente l'application de ce compteur à une distribution à trois fils avec des courants diphasés, fournis par une dynamo I à une réceptrice M, pratiquement égaux avec des forces électromotrices égales ou proportionnelles, et les variations de ces forces n'ont d'ailleurs que peu d'influence sur l'exac-

titude du compteur. Le conducteur 9 en série avec B B_1 et, commun aux circuits 9 10 et

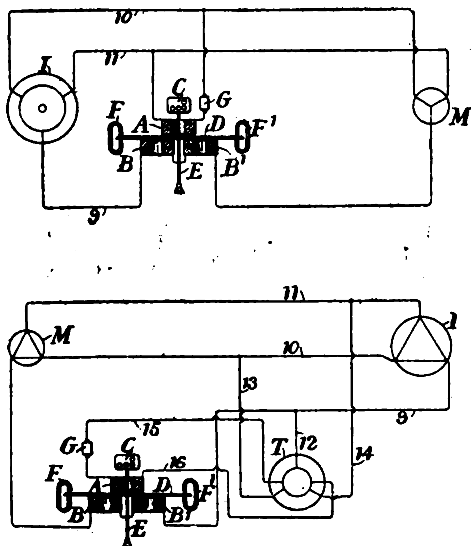


Fig. 14 et 15. — Compteurs *Shallenberger.*

q 11, est traversé par un courant mais résistant en intensité et en force électromotrice

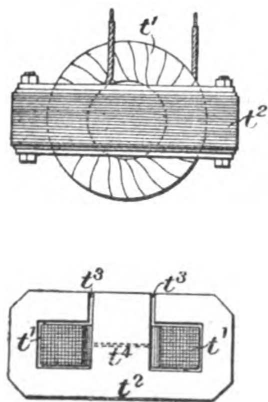


Fig. 16, et 17. — Compteurs *Shallenberger.*

à 45° de ceux en q — 10 et q — 11, et il faut, pour envoyer en 5 et en B et B' des courants de force électromotrices à 90° de celles de 9, et de A, dériver 5 sur 10 et 11.

En fig. 14, on a représenté l'application du compteur à un circuit triphasé A, est en dérivation sur q et 10, B et B_1 sont en série sur 9, de sorte que les forces électromotrices en A et B B_1 ne sont décalées que de 90°, bien que celles en 9 10 et 11 le soient de 120°.

L'on a, en fig. 15, ajouté un transtormateur T, relié à 9 10 et 11 par 12, 13, 14, de manière que les courants polyphasés de 9 10 et 11 sont transformés en 15 et 16, sur A, en cou-

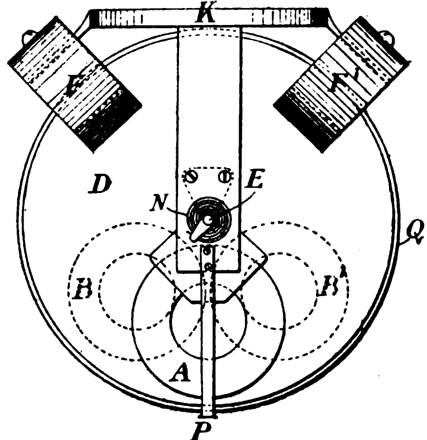


Fig. 18. — Compteur *Shallenberger.*

rants convenablement déphasés pour la bonne marche du compteur.

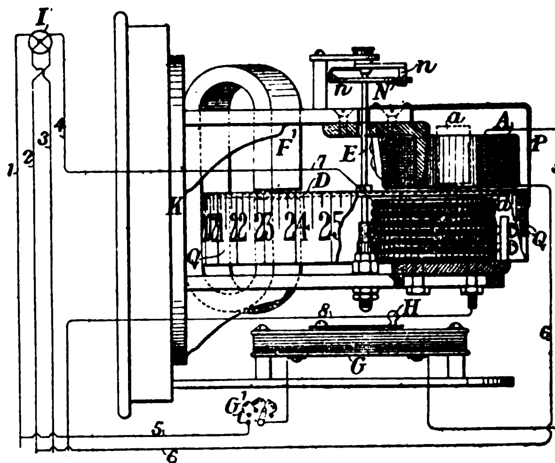


Fig. 19. — Compteur *Shallenberger.*

Le compteur représenté par la figure I A est semblable à celui de la fig. 1, mais destiné à mesurer de faibles courants. La bobine dérivée A, à fils très fins, est dérivée par 3—4 sur les conducteurs 1 et 2 du circuit W, avec interposition de l'inductance T constitué par un enroulement t, autour d'un anneau lamillaire fendu en (fig. 16 et 17) t^3.

On a parfois avantage à pourvoir l'une des bobines, A par exemple (fig. 2 A) d'une armature *a a a'*, dont la partie *a* est règlable, qui concentre les lignes de force sur le disque D *d* et permet d'ajuster l'appareil.

Dans l'appareil représenté par les figures 18 et 19 ce n'est plus la rotation d'un disque qui indique l'énergie du courant, mais la déviation de ce disque en opposition avec un ressort. La bobine A est dérivée, par 5 — 6, sur le circuit 1 — 2, les bobines B et B sont comme précédemment, aussi en série sur 3 — 4 par 7 — 8, et la dévation du disque D, contrariée par un ressort N, règlables en *n n*, est amortie par l'aimant permanent FF_1. Ce disque porte une graduation Q, mobile devant un index P. Un rhéostat G', en série avec A, permet de compenser les effets des variations de températures. Ces compteurs se montent suivant la disposition des circuits et la nature des courants comme les appareils à rotation que nous venons de décrire. G. R.

Electrolyse des minerais de zinc Siemens et Halske (1896).

L'oxyde de zinc résultant du traitement des calamines est dissout dans un bain de sulfate d'alumine neutre $Al^2(SO^4)^3 + 18H^2O$, d'où l'on sépare le zinc par électrolyse : le zinc se précipite sur la cathode, et l'oxygène à l'anode, en reproduisant le sulfate d'alumine qui sert indéfiniment. L'oxyde de zinc, ou le minerai qui le renferme est agité dans une dissolution chaude de 100 à 150 grammes de sulfate d'alumine par litre, et la dissolution de sulfate de zinc et de sulfate basique d'alumine ainsi obtenue est, après séparation de ses impuretés métalliques, traitée par un courant d'une tension de 3 volts sans diaphragmes. On peut employer comme cathode du fer ou de l'acier, qui se galvanise.

G. R.

Joints Penson pour câbles à haute tension ([1]).

Ce joint a été construit en vue d'obtenir un isolement élevé et une construction mécanique simple et robuste, permettant un montage facile et rapide.

La figure 1 le représente en coupe longitudinale et la figure 2 vu en bout.

Le montage s'effectue de la façon suivante.

Les deux extrémités des câbles à réunir A sont d'abord dénudées. On passe ensuite sur chacune d'elles, dans l'ordre indiqué par la gravure, les pièces terminales C, la rondelle

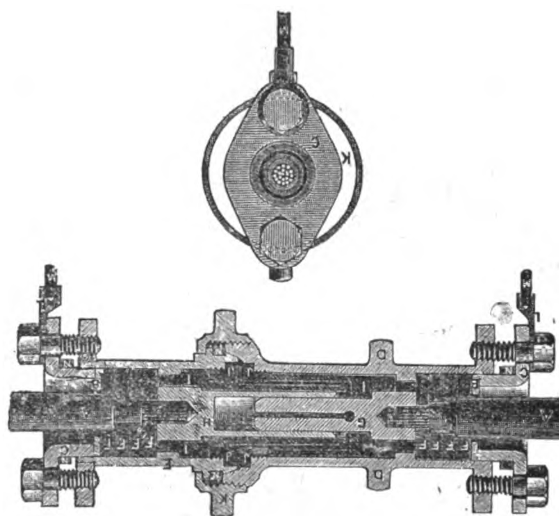


Fig. 1. — Coupe longitudinale du joint *Penson*.
Fig. 2. — Vue en bout du joint *Penson*.

en bronze B et les quatre rondelles en caoutchouc F ; on soude ensuite sur chaque câble respectivement les deux pièces G et H qui peuvent entrer l'une dans l'autre à frottement dur et qui servent à effectuer le joint. On introduit ensuite les manchons extérieurs en bronze E et D, puis les gaînes isolantes I, en ébonite ou en porcelaine, qui sont maintenues par les écrous en fibre J J. Il ne reste plus qu'à serrer à fond l'écrou extérieur K qui applique fortement l'une sur l'autre les extrémités côniques rodées des manchons E et D et assure ainsi un joint étanche, puis à visser à refus les pièces terminales C qui, comprimant les rondelles en caoutchouc F F, les applique fortement sur le câble. Des rondelles en caoutchouc N, N, N, assurent en

([1]) *The Electrical Review* (Londres), 20 mars 1896, p. 370.

outre l'étanchéité des joints. L'ensemble de l'enveloppe extérieure est mise à la terre par des conducteurs souples fixés en L, M.

G. P.

Un volant de 68 tonnes en fer lamellaire.

Engineering décrit un volant construit en feuilles d'acier par la E. P. Allis Company,

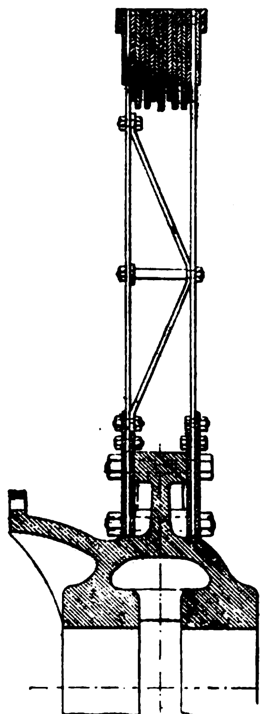


Fig. 1. — Volant de 68 tonnes en fer lamellaire.
Coupe verticale — échelle $\frac{1}{40}$.

de Milwaukee, pour la Compagnie des tramways électriques de Boston. Il est monté sur un moteur à vapeur compound dont les cylindres ont respectivement 81.3 et 152,4 cm de diamètre, avec une course commune de 152,4 cm, et qui est couplé directement à une dynamo. Il a 7,315 m de diamètre et pèse environ 68000 kg répartis ainsi : moyeu 15 000 kg; jante 31 500 kg; partie intermédiaire 21 500 kg. Le moyeu est en fonte de fer massive. La jante est formée, dans son épaisseur, de 17 plaques annulaires en acier, de 2,54 cm d'épaisseur chacune et de largeurs différentes; chacune est formée de 8 segments de 45°, les joints étant alternés sur les couches successives. La jante et le moyeu sont réunis par deux plaques circulaires en acier, du même diamètre que le volant, et de 2,54 cm d'épaisseur, qui embrassent la jante sur ses deux faces latérales, ce qui porte l'épaisseur totale de la jante à $19 \times 2,54 = 48,26$ cm. Près du centre, les plaques circulaires sont renforcées par 4 plaques circulaires en acier, de 2,90 m de diamètre ; elles sont fixées sur le moyeu par 48 boulons de 70 mm de diamètre. Les deux plaques circulaires sont à 33 cm l'une de l'autre intérieurement et sont réunies par 16 plaques radiales courbées en V (fig. 1). Les plaques formant la jante sont maintenues ensemble par 16 boulons dans chaque segment.

Galvanisation électrolytique du fer, par O. Vogel.

La déposition électrolytique du zinc sur le fer peut s'obtenir par trois procédés : 1° celui de Cowper-Coles, 2° celui de Richter et 3° celui de Alexander ; ce dernier est une combinaison des deux méthodes de Schaag et Falk.

A ces différentes méthodes, qui généralement offrent de sérieux inconvénients pratiques, la plupart des industriels préféraient le vieux procédé de fusion, malgré ses propres inconvénients et désavantages.

A la dernière réunion de la Eisenhütte à Düsseldorf (Allemagne), M. O. Vogel a lu une note dans laquelle il expose les avantages des procédés de galvanisation électrolytique sur la méthode de fusion. Ces avantages, dit l'auteur, consistent principalement en économie de zinc, car la couche à déposer sur la surface du fer n'a pas besoin d'avoir une épaisseur considérable pour préserver ce métal de l'oxydation. En outre, on a constaté que les minces couches de zinc déposées uniformément par l'électrolyse résistent mieux aux déformations quelconques que l'on a besoin de faire subir aux objets galvanisés que les couches plus ou moins uniformes obtenues par le procédé de fusion. Enfin, on peut soumettre à la galvanisation électrolytique un objet en fer d'une forme quelconque, la couche de zinc sera répartie dans les par-

ties de formes complexes que peut avoir cet objet, avec autant d'uniformité que sur les surfaces lisses.

Quant aux inconvénients qui sont la cause que les industriels conservent leur ancienne méthode de fusion, ils consistent, d'après l'auteur, en ce que la galvanisation électrolytique exige plus de main d'œuvre, de temps et d'intelligence pour mener l'opération à bonne fin, et, par conséquent, ils peuvent être facilement surmontés.

A la suite de la lecture de cette note, M. Schmidt fit observer que les fils galvanisés par le procédé électrolytique ne résistent pas à l'immersion ; la méthode de fusion doit donc être considérée, pour le moment, comme convenant mieux pour les fils télégraphiques ; toutefois les nouvelles méthodes électrolytiques semblent être assurées du succès dans un avenir prochain, dès que les appréhensions des inconvénients qui les accompagnent auront disparu.

Progrès dans la théorie et dans la construction des batteries secondaires, par F. Zacharias (1)

Le défaut capital des batteries d'accumulateurs est, comme on le sait, le manque d'adhésion de la matière active aux plaques ; c'est là la plaie de tous les accumulateurs en général et même de ceux des types Planté et Tudor, car lorsque l'oxydation devient profonde la couche d'oxyde s'écaille et tombe.

De nombreuses observations et des expériences minutieuses ont conduit à cette conclusion que la destruction des plaques est due à la formation de bulles de gaz entre la matière active et son support. Comme cette formation ne peut être évitée, il faut donc faciliter le dégagement des gaz.

Les procédés mécaniques qui ont été appliqués dans le but de renforcer les plaques, grilles, etc, n'ont eu que très peu de succès, pour cette raison que plus la pâte est maintenue d'une façon rigide sur les plaques, plus ces dernières sont détériorées rapidement, car les bulles de gaz ne pouvant s'échapper qu'à travers la pâte, celle-ci est promptement désagrégée.

On peut aisément se rendre compte du rôle que jouent les gaz dans la destruction des accumulateurs, en faisant une expérience avec une plaque pour laquelle on n'a pris aucune précaution pour assurer leur dégagement ; après cinq charges on remarque qu'une petite portion de la matière se détache du centre de chaque cellule. Mais si on en pratique, avec une aiguille, environ 100 perforations par décimètre carré avant la formation de la plaque, on remédie complètement à cet inconvénient.

D'autres expériences ont montré que la formation des plaques à pastilles rapportées a lieu peu à peu des bords vers le centre, puisque le courant ne peut pénétrer la pâte que par les bords de la plaque. Il en résulte non seulement une perte de temps mais encore une usure plus rapide du support, qui amène tôt ou tard la chute de la matière active.

Enfin il a été reconnu qu'il est absolument nécessaire d'assurer le dégagement des gaz des plaques négatives, car sans cela la poussière de plomb réduit, qui couvre leurs surfaces, serait projetée par les bulles de gaz.

Ces observations faites sur des plaques de différents modèles ont conduit l'auteur à la construction de plaques satisfaisant aux conditions suivantes :

1° Aucune portion métallique de la structure ne doit traverser horizontalement la pâte ; 2° La pâte elle-même ne doit pas être retenue par ses bords supérieurs ; 3° Lorsqu'une partie du support recouvre la matière active, de nombreux trous doivent être pratiqués pour le dégagement des gaz ; 4° Le support ou cadre doit distribuer le courant uniformément et avoir le plus faible poids possible, tout en maintenant la pâte ; et enfin 5° La matière active des plaques négatives ne doit pas tomber même étant désagrégée.

Dans les plaques construites d'après ces principes par MM. Zacharias et Dannert tou-

(1) *The Electrician* t. XXXVI p. 818, 17 Avril 1896.

tes les parties du cadre qui retiennent la matière active sont verticales ; dans les plaques dont l'épaisseur dépasse 15 mm des bandes de soutien sont placées perpendiculairement et sont noyées dans la pâte, en quantité telle que la surface de contact de la pâte et du support soit égale, sinon plus grande que la surface de contact avec l'acide. Le dégagement des gaz est assuré dans la matière active comme dans le support, par de petits canaux pratiqués dans la pâte.

Au début de la charge des accumulateurs ainsi constitués, on remarque que le dégagement des gaz a lieu plus tôt que dans les autres types ; mais les bulles sont moins grosses et ne détériorent pas la matière active.

Ces nouvelles plaques ont, d'après les auteurs, une capacité pouvant s'élever à 100 ampères heures par kilogramme de matière active, soit 65 ampères heures par kilogramme d'électrode positive ; la densité du courant de charge est de 1 à 2 ampères par décimètre carré de surface de plaques positives, et celle du courant de décharge peut être portée à 5 ampères par décimètre carré.

L. D.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Vérification de loi de Kerr. — Mesures absolues, par Jules Lemoine [1].

« Je me suis proposé de vérifier que la biréfringence acquise par le sulfure de carbone électrisé était, comme Kerr l'a énoncé [2], proportionnelle au carré de la force électrique. J'ai pu obtenir une précision supérieure à celle de M. Kerr ou de Quincke [3] et déterminer la valeur absolue de la constante de Kerr. Cette constante représente le retard, exprimé en longueurs d'onde, d'une vibration lumineuse polarisée dans un plan normal à la force électrique, l'intensité de cette force étant égale à l'unité électrostatique et l'épaisseur traversée par le rayon lumineux dans une direction perpendiculaire égale à 1 cm.

» Un condensateur, formé par deux lames parallèles en cuivre de 18 cm de longueur, 5 cm de largeur, distantes de 0,35 cm, est immergé dans le sulfure de carbone. Une des lames communique avec le sol ; l'autre est reliée à une machine de Wimshurst ; elle est maintenue à un potentiel constant et dont la grandeur est réglable à volonté par les méthodes connues. La mesure du potentiel se fait au moyen de l'électromètre absolu que possède le laboratoire [1].

» Un rayon lumineux, polarisé à 45° du plan des armatures du condensateur, passe dans leur intervalle, sort polarisé elliptiquement et tombe sur un compensateur de Babinet. Celui-ci mesure la différence de marche entre la composante parallèle aux lames et la composante normale seule retardée [2]. L'oculaire du compensateur est muni d'un verre rouge.

» Les mesures se font simultanément au compensateur et à l'électromètre.

» La différence de potentiel entre les armatures a varié entre 5 000 volts et 35 000 volts. Pour les bas potentiels, la biréfringence mesurée est faible ($0\lambda,025$ pour 6 000 volts) et l'erreur relative notable ; d'autre part, les potentiels très élevés se maintiennent difficilement sans variations et amènent une autre difficulté dans les mesures. La loi de Kerr exprime la constance du quotient de la différence de marche par le carré du potentiel. La valeur de ce quotient, donnée en unités électrostatiques par une moyenne entre 21 séries de mesures effectuées de 7000 volts à 21 000 volts, est $5,46 \times 10^{-5}$. Les écarts à partir de cette moyenne atteignent $\frac{1}{100}$ au maximum. La plus faible des mesures aux potentiels extrêmes qui

(1) *Comptes rendus*, t. CXXII. p. 835, 13 avril 1896.
(2) Kerr, *Phil. Magazine*, 1880, p. 157.
(3) Quincke, *Annalen der Ph. und Ch.*, 1883, p. 773.

(1) *Comptes rendus*, 1895, p. 726.
(2) Kerr, *Phil Magazine*, 1894, p. 400.

n'ont pas servi au calcul de la moyenne donne $5,38 \times 10^{-5}$ et la plus forte $5,84 \times 10^{-5}$.

» En résumé, il ressort de ces mesures que les écarts entre la loi exacte de biréfringence et la loi de Kerr ne peuvent dépasser 1 pour 100.

» *Calcul de la constante de Kerr.* — Si l'on désigne par K la constante de Kerr, par F la force électrique et par dx l'élément de longueur mesuré suivant le rayon lumineux, le retard optique a pour expression

$$K \int_{-\infty}^{+\infty} F^2 \, dx.$$

» L'intégrale doit être calculée en tenant compte de ce que le champ n'est plus uniforme au voisinage des bords. Imaginons que, les deux armatures étant aux potentiels + V et — V, la surface de niveau située dans le plan de symétrie soit métallique et au potentiel o. Elle prendra, en chaque point, sans troubler le champ, une densité $\pm \sigma = \frac{F}{4\pi}$. Il vient donc

$$\int_{-\infty}^{+\infty} F^2 \, dx = \int_{-\infty}^{+\infty} 16 \pi^2 \sigma^2 \, dx = 8\pi \int_{-\infty}^{+\infty} 2\pi\sigma^2 \, dx.$$

» Cette dernière intégrale représente l'attraction exercée par le plan indéfini sur l'une des lames du condensateur, cette attraction étant rapportée à une bande de largeur égale à 1 et de longueur indéfinie. La question se trouve ramenée à un problème connu (¹). On peut considérer le champ comme étant uniforme entre les armatures du condensateur et nul en dehors à la condition d'ajouter à leur longueur l le terme correctif

$$\frac{e}{\pi} - \frac{e^2}{\pi^2 l} \text{ log. nép. } \frac{\pi l}{e} + \dots.$$

» On trouve, pour longueur du condensateur équivalent, 18 cm, 108 tandis que la longueur réelle est 18 cm.

» La valeur absolue de la constante de Kerr est donc

$$\frac{5,46 \times 10^{-5} \times \overline{0,35}^2}{18,108} = 3,70 \times 10^{-7}. »$$

(¹) MAXWELL, *Électricité et Magnétisme*, traduction française, p. 365.

Déviation électrostatique des rayons cathodiques. Réponse à M. H. Poincaré, par G. Jaumann (¹).

« Dans ses observations (²) M. H. Poincaré ne tient plus à sa première objection, que ma théorie ne donnerait pas la déviation magnétique des rayons cathodiques. Ainsi, il n'y a pas de différence entre nous sur les conséquences de ma théorie.

» Il ne reste qu'à démontrer pourquoi a_1, a_2, a_3 doivent être des constantes. C'est nécessaire, parce que tout rayon doit avoir des surfaces d'onde. Quand a_1, a_2, a_3 ne seraient pas des constantes, les surfaces d'onde des oscillations électriques auraient une *autre forme* que les surfaces d'onde de la variable Θ ou des oscillations magnétiques, ce que personne ne pourrait nommer un *rayon*.

» Je consens à la méthode du surface-canal que M. Poincaré propose. Mais je ne connais jusqu'à présent aucune intégrale pour un champ non uniforme qui, en rendant compte de toutes les variables et de tout l'espace considéré, représenterait un phénomène quelconque à l'intérieur du surface-canal, tandis qu'à l'extérieur du canal les oscillations seraient sensiblement nulles.

» La seconde objection de M. Poincaré tire à une conséquence évidente de ma théorie. Il n'accepte pas ma théorie parce qu'elle indique que (sans intervention de l'aimant) les rayons cathodiques suivent les lignes de force électrique statique, bien que l'expérience démontre que ces rayons sont rectilignes.

» Or, ça, j'ai réussi, il n'y a pas longtemps des expériences qui expliquent d'une manière toute nouvelle pourquoi les rayons cathodiques sont à peu près rectilignes. Je viens de communiquer ces expériences dans les *Sitzungsberichte de l'Académie de Vienne* du 23 avril 1896, et j'ai l'honneur d'en donner ici le résumé : j'ai toujours prétendu (³) que (sans

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 988; séance du 4 mai 1896.

(²) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 519; 2 mars 1896. *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 175.

(³) Voir *Sitzungsber, de l'Académie de Vienne*, 4 juil-

intervention de l'aimant) l'axe des rayons de ma théorie, où les oscillations sont purement longitudinales, suit les lignes de force électrique statique, D'après cela, quand les rayons cathodiques sont rectilignes, il faut conclure que la surface de verre du tube évacué est tellement chargée que des lignes de force sont rectilignes. Ce sont les rayons cathodiques eux-mêmes qui, en toutes circonstances et par une loi bien profonde, chargent le verre en cette manière, c'est à dire qui ont le pouvoir de se tendre en ligne droite. Cette tension ne prend qu'un temps très court, si l'on emploie, comme tous les autres observateurs l'ont préféré, des rayons cathodiques de grande intensité. Mais les rayons très faibles se dressent déjà en 0,2 à 1 seconde.

» La meilleure méthode (mais non pas la seule méthode) pour affaiblir les rayons est la suivante : on submerge le tube, qui est fortement évacué et sans anode, dans de l'huile ordinaire, bien peu isolante, en enfonçant aussi une anode dans l'huile à une distance de 1 cm à 2 cm du tube. Il est nécessaire de charger les électrodes par une machine à influence, non pas par une bobine de Ruhmkorff.

» *Ces rayons faibles sont déviés très fortement par des forces électrostatiques.* Un bâton de verre frotté, agité à une distance de 50 cm du tube, dévie les rayons. Un bâton d'ébonite les dévie en sens contraire. Des conducteurs chargés les dévient dans les sens correspondants. Mais l'intention des rayons de se tendre en ligne droite donne à ces déviations électrostatiques le caractère des phénomènes d'induction : pendant qu'on agrandit la force électrostatique déviante, les rayons sont déviés, pour se dresser eux-mêmes en 0,2 à 1 seconde. Tant que la force déviante reste grande, mais constante, les rayons restent rectilignes. Quand on affaiblit la force déviante à sa valeur initiale, les rayons font leur inclinaison en sens contraire et se dressent de nouveau en 0,2 à 1 seconde. Il est très remarquable que (et de quelle manière) ces déviations sont accompagnées par des variations d'intensité des rayons cathodiques.

» Le sens de ces déviations électrostatiques est *inverse* à celui qu'on aurait pu attendre. Le rapprochement à la cathode des corps électrisés négativement (ou l'éloignement des corps positifs, etc.) attire les rayons, ce qui ne démontre que le fait qu'on connaît mal le signe d'une partie quelconque des phénomènes à l'intérieur du tube.

» J'ajouterai aussi que les anciennes expériences de MM. Crookes et Goldstein, qui démontrent des déflexions *persistantes* des rayons exercées par des *électrodes*, s'expliquent comme des déviations électrostatiques (*stationnaires*). En ces cas, l'effet des rayons qui charge le verre du tube, ne peut pas tendre en ligne droite les lignes de force, par exemple, parce que cet effet est stationnairement paralysé par la charge affluente de l'électrode déviante. »

let 1895, p. 786; *Wied. Ann.*, t XLVII, p. 178; *Comptes rendus* du 13 janvier 1896, p. 75, et du 2 mars 1896, p. 519; *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 137 et 175.

Observations au sujet de la Communication de M. Jaumann, par M. Poincaré.

« M. Jaumann est conduit à supposer que les lignes de force sont rectilignes à l'intérieur d'un tube de Crookes. Hertz avait cru pouvoir tirer de certaines expériences une conclusion contraire (Cf. *Wied. Ann.*, t. XIX). Je ne veux pas insister sur cette question, que les expérimentateurs pourront seuls trancher ; mais je tiens à faire observer que je n'ai nullement renoncé à l'objection tirée de la déviation magnétique des rayons cathodiques. »

(1) *Comptes rendus*, t. CXXII, p 990; séance du 4 mai 1896.

Magnétographies produites par les radiations des pôles d'un aimant, par John S. McKay (1)

Sous ce titre l'auteur vient de publier dans le *Scientific American* les résultats d'expé-

(1) *The Electrical Review*, t. XXXVIII, p. 586; 8 mai 1896.

riences intéressantes qui montrent que les forces magnétiques peuvent produire des images photographiques analogues à celles que donnent les rayons de Roentgen.

Dans quelques-unes de ses expériences il plaçait une substance paramagnétique sur la couche sensible d'une plaque photographique et approchait de la face opposée soit un aimant permanent. soit un électroaimant ; en développant la plaque il constata l'apparition d'une image de la substance se détachant en clair sur le fond noirci de la plaque ; il a obtenu ainsi des silhouettes très nettes d'une clef, d'un fil de fer, d'une paire de ciseaux, etc.

Dans d'autres expériences la couche sensible de la plaque était tournée du côté des pôles de l'aimant, sans les toucher, et sur l'autre face de la plaque était placée une plaque de fer de mêmes dimensions que celle-ci. Dans ces conditions tout objet, de substance magnétique ou non, donnait une image claire en négatif.

Ces dernières expériences réussissaient très bien avec un aimant dont la force portante n'était que de 500 gr environ. En prenant un électroaimant capable de soulever un poids de 50 kilogr, on pouvait augmenter la distance de la plaque aux poles sans diminuer la netteté des images, et l'auteur a pu obtenir des images nettes à travers une planche de bois 2 cm d'épaisseur.

Le contact des objets avec la couche sensible paraît être indispensable à la netteté des images, car, si on les en sépare par une feuille de mica ou de papier, l'intensité des images est considérablement diminuée, beaucoup plus que lorsqu'on éloigne les pôles de plusieurs pouces.

La meilleure disposition consiste à disposer l'aimant verticalement et à placer au dessous la plaque photographique et la plaque de fer, de manière qu'elles se trouvent maintenues, malgré leurs poids, par l'attraction de l'aimant ; quelques cales de bois empêchent le contact des pôles et de la plaque photographique ; les objets à reproduire sont placés sur celle-ci et enveloppés avec elle dans plusieurs doubles de papier noir.

En opérant avec un électroaimant l'auteur a constaté qu'en faisant varier l'intensité du courant magnétisant avec un rhéostat ou en fermant et ouvrant ce courant avec un interrupteur on facilitait la formation des images.

La durée d'exposition de la plaque à l'action de l'aimant ne paraît avoir au contraire aucune influence sensible, car l'intensité des images était à peu près la même avec cinq minutes et avec 10 heures de pose. Il résulterait de ces faits que c'est au moment où l'on approche et à celui où l'on éloigne la plaque que se produisent les images. Cette hypothèse est d'ailleurs confirmée par l'observation suivante : Dans une expérience où une clef était employée comme armature, cette clef et la plaque se détachèrent des pôles et furent ensuite replacées dans une position aussi voisine que possible de la position initiale ; après dix heures de pose la plaque donna au développement deux images de la clef ayant très sensiblement la même intensité et évidemment dues à ce que la clef n'avait pas été rigoureusement replacée dans sa position initiale.

M. Mc Kay termine par ces quelques considérations :

« Ces résultats semblent indiquer que dans le champ d'un aimant l'éther est dans un état de tension permanente, due peut-être à des vortex, et que toute variation de la force magnétique, produite par le mouvement de l'armature ou la variation du courant magnétisant, modifie le degré de tension et engendre ainsi des ondes éthériques capables d'affecter les plaques photographiques. Il ne semble pas y avoir de différence entre les radiations des deux pôles puisque la plaque est uniformément noircie sauf aux endroits où elle est protégée par les objets. Les conducteurs paraissent être plus opaques à ces radiations que les isolants, sans doute parce qu'ils transforment l'énergie des ondes en courants de Foucault.

» Peut-être les ombres obtenues par une

longue exposition aux rayons solaires, et que quelques personnes attribuent à des rayons de Roentgen, sont-elles produites par des ondes magnétiques émanant du soleil ? Peut-être aussi les rayons de Roentgen eux-mêmes sont-ils analogues à ces rayons magnétiques ou peut-être leurs effets sont-ils dûs à la composante magnétique d'ondes hertziennes. »

J. B.

Méthode de mesure de la perte d'énergie par hystérésis, par G. F. Searle (1).

L'emploi très général des transformateurs dans la distribution de l'énergie par courants alternatifs, a donné à la mesure de l'hystérésis dans le fer, une importance industrielle considérable. Au point de vue purement scientifique, il est également désirable de pouvoir étudier par des moyens aisés les effets des diverses conditions physiques : tension, température, passage de courants électriques, sur la perte d'énergie par hystérésis.

Voici le procédé de mesure que propose l'auteur :

Une barre de fer de section A est introduite dans un solénoïde enroulé de N spires par centimètre de longueur. Le courant I qui traverse ce solénoïde passe également dans la bobine fixe d'un électrodynamomètre. Une bobine secondaire de n tours enroulée sur le fer est reliée avec la bobine mobile du dynamomètre, et la résistance de ce circuit secondaire est R.

Quand le courant primaire I varie, l'induction $\mathfrak{B}$ varie également, et une force électromotrice.

$$A n \frac{d \mathfrak{B}}{d t},$$

est créée dans le circuit secondaire. Si la constante de temps du circuit secondaire est très petite par rapport à la durée d'un cycle complet, les effets de la self-induction peuvent être négligés. et le courant secondaire formé est donné par

$$i = \frac{A n}{R} \frac{d \mathfrak{B}}{d t}.$$

Le couple exercé entre les deux bobines de l'électrodynamomètre quand la déviation est assez petite, s'exprime par q I i. Si la durée d'oscillation de la bobine mobile est grande par rapport à la période du cycle, le moment angulaire imprimé à la bobine par cycle est donné par

$$K w = \int q I i d t = \frac{q A n}{4 \pi N R} \int \mathfrak{H} \frac{d \mathfrak{B}}{d t} d t$$
$$= \frac{q A n}{4 \pi N R} \int \mathfrak{H} d \mathfrak{B},$$

K étant le moment d'inertie de la bobine et ω sa vitesse angulaire initiale. Comme l'énergie perdue par hystérésis est :

$$W = \frac{1}{4 \pi} \int \mathfrak{H} d \mathfrak{B},$$

on a

$$W = \frac{N R}{q A n} K w.$$

Soit T la durée d'oscillation de la bobine, θ son élongation angulaire maxima et η le couple antagoniste de la suspension par unité d'angle.

Alors :

$$\frac{1}{2} K w^2 = \frac{1}{2} \eta \theta^2,$$

et

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{A}{\eta}}.$$

Il en résulte

$$K w = \frac{\eta \theta T}{2 \pi},$$

et par conséquent :

$$W = \frac{N R \eta T}{2 \pi q A n} \theta.$$

La quantité $\frac{\eta}{q}$ se détermine aisément comme suit :

Φ étant la déviation observée lorsque des courants i_1 et i_2 passent respectivement dans les bobines mobile et fixe, la relation :

$$q i_1 i_2 = \eta \Phi,$$

(1) Communication faite à la *Société philosophique de Cambridge.*

donne

$$\frac{n}{q} = i_1 \frac{i_2}{\Phi}.$$

S'il existe un amortissement appréciable, il faut multiplier l'expression par $1+\frac{1}{2}\lambda$, λ étant le décrément logarithmique. Finalement, la formule donnant l'énergie perdue par cycle en fonction de l'élongation observée est :

$$W = \frac{N R T i_1 i_2}{2 \pi A n \Phi} \theta \left(1+\frac{1}{2}\lambda\right).$$

L'élongation est donc proportionnelle à la perte d'énergie par hystérésis.

Dans l'instrument que l'auteur a fait construire la bobine mobile est une bobine longue et étroite de 120 spires, d'environ 8 cm de longueur sur 1,5 cm de largeur, et suspendue à un fil d'argent de 2,5 centièmes de millimètre de diamètre.

La bobine fixe est formée de 500 spires entourant de très près la bobine mobile. Avec 1285 tours dans le solenoïde secondaire et 100 ohms dans ce circuit, l'instrument est assez sensible pour mesurer la perte par hystérésis dans un fil de fer de 0,02 cm^2 de section.

Il faut noter que l'inversion du courant primaire ne doit pas se faire trop brusquement et l'auteur se sert à cet effet d'une clef spéciale.

Pour la détermination de la constante de l'instrument, l'auteur indique d'autre part une méthode plus commode que celle précédemment indiquée. Faisons passer dans le circuit primaire un courant constant I', et pendant le passage de ce courant faisons varier brusquement d'une quantité P le flux magnétique traversant le circuit secondaire. La quantité d'électricité induite dans le secondaire est $\frac{P}{R}$, et le moment angulaire initial de la bobine suspendue est donc ·

$$K w' = \frac{q I' P}{R}.$$

Mais si θ' représente l'élongation, on a :

$$\frac{w}{w'} = \frac{\theta}{\theta'},$$

De sorte que finalement :

$$W = \frac{I' P N \theta}{A n \theta'}.$$

A. H.

Réaction de l'armature dans un alternateur à courants monophasés, par W. G. Rhodes [1].

L'auteur commence par déterminer les signes des angles, θ, φ et ψ afin de connaître l'avance ou le retard de la f. é. m. sur l'intensité puis il se sert des résultats obtenus pour savoir si le champ d'excitation du générateur et du moteur est renforcé ou affaibli par la réaction des courants de l'armature.

Soient :

E la f. é. m. du générateur; e la force contre électro-motrice du moteur ; R la résistance totale du circuit, générateur, moteur et ligne L somme des coefficients de self-induction des armatures du générateur et du moteur, ou, si la ligne possède une self-induction, le coefficient de self-induction du circuit total ; I l'impédance du circuit total; S la réactance du circuit total.

La f. é m. qui produit le courant est la résultante de E, e, et Sc : de sorte que E, e, Sc. et Rc renversés forment un système de f. é m. en équilibre.

Dans la figure 1 admettons que la direction positive de la rotation soit dans le sens des aiguilles d'une montre, et que Oc soit la direction de l'intensité. Prenons O R' égal à Rc renversé, et par conséquent opposé à l'intensité ; soit encore OS' = Sc avec un retard sur l'intensité d'un quart de période. La résultante OT' de OR' et SO' sera alors égale et opposée à la résultante de E et e. Par conséquent si l'on prolonge T'O vers T de manière que OT = OT', OT représentera en grandeur et en direction la résultante de E et c.

Maintenant que nous possédons les valeurs de E et e nous pouvons chercher leur direction par la loi du parallélogramme.

[1] *Philosophical Magazine*, t. XL, p. 195, août 1895. Voir pour la première partie de ce mémoire *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 181, 27 juillet 1895.

Traçons donc deux parallélogrammes ayant O T comme diagonale et E, e comme côtés. Puisque E représente la f. é. m. du générateur, nous prendrons la composante de E suivant O c dans le même sens que celui de l'intensité.

L'autre parallélogramme supposerait la force électromotrice e génératrice.

Par suite on peut remarquer que la possibilité de construire ces deux parallélogrammes fournit une preuve du fait que, en général, l'un quelconque des deux alternateurs peut être entraîné comme moteur par l'autre.

On a d'ailleurs une preuve analytique de ce fait par l'équation d'énergie

$$p + c^2 R = c E \cos \psi,$$

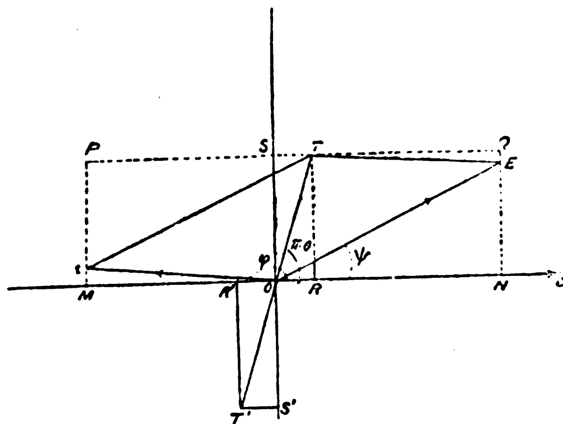


Fig. 1.

en se rappelant que

$$p = c e \cos \varphi,$$

et que φ et ψ sont indépendants.

La condition que E représente la f. é. m. du générateur fixe le choix des deux parallélogrammes sur O E T e (fig. 1).

Nous avons alors

$$\text{l'angle } c \text{ O E} = \psi$$

$$\text{l'angle } c \text{ O T}' = \theta$$

et

$$\text{l'angle } c \text{ O } e = \Phi$$

Maintenant traçons une droite P S T Q parallèle à la ligne d'intensité et quatre autres P M, S O, T R et Q N perpendiculaires à la ligne d'intensité et passant par e, Q. T et Q.

Nous aurons

$$\text{tang } \theta = -\frac{S c}{R c} = -\frac{S}{R} = -\frac{2 \pi n L}{R}, \qquad (1)$$

on voit donc que θ est indépendant de l'intensité et que O T est une direction fixe relative à O c tant que la vitesse des machines est maintenue constante, et que L est considéré constant.

Dans la figure 1, O S (ou P M) est proportionnel à l'intensité

O M est la composante de e directement opposée à c.

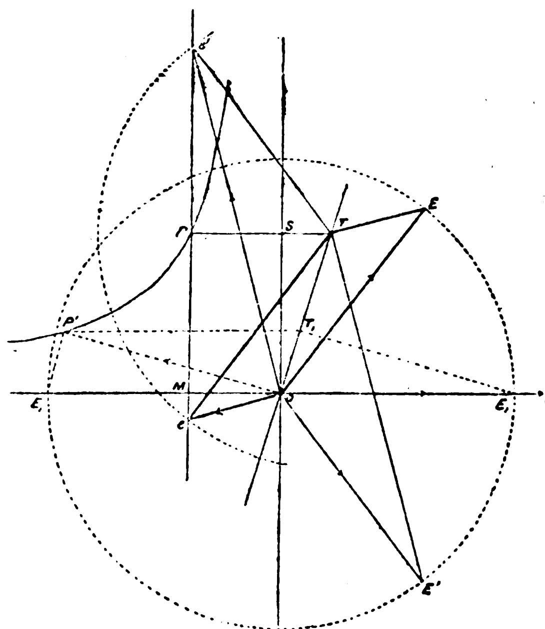


Fig. 2.

O R est la f. é. m. nécessaire pour surmonter la résistance = R c.

et O N est la composante de E dans la direction de c.

Par suite l'aire du rectangle P S O M est proportionnelle au rendement du moteur [p], celle du rectangle O S T R est proportionnelle aux pertes c^2 R,

et celle du rectangle O S Q N est proportionnelle au rendement du générateur [c E cos ψ]

De ces résultats et de l'équation

$$p + c^2 R = c E \cos \psi$$

il résulte que le rendement de transformation est

$$\frac{OM}{ON} = \frac{OM}{MR}$$

Si les données du moteur sont maintenues constantes, l'aire du rectangle P S O M est constante et le lieu de P est une hyperbole rectangulaire ayant O M et O S comme asymptotes (fig. 2).

Prenons un point quelconque P sur cette hyperbole. Nous avons vu que O T a une direction fixe relativement à O c ; on trouve le point T (fig. 1) dans cette direction en coupant P par une ligne parallèle à O c. De nouveau, e se trouve sur la ligne coupant P qui est parallèle à O S et e T = E en grandeur. Admettons que la f. é. m. du générateur soit maintenue constante et égale à E. Avec T pour centre et E comme rayon, décrivons un cercle coupant P M en e et e' ; la force contre électromotrice du moteur pourra être O e ou bien O e' et l'intensité est représenté en grandeur par P M ; par suite aux valeurs données de E et de c, correspondent deux valeurs de e. Les phases relatives dans les deux cas sont indiquées dans les parallélogrammes O e T E et O e' T E' (fig. 2).

Pour trouver sur l'hyperbole le point P correspondant au minimum d'intensité nous amènerons les points e et e' en coïncidence ; le point P' s'obtient indirectement en prenant O E'_1 égal à E et en traçant de E'_1 une ligne E'_1 P parallèle à O T. Le parallélogramme O P' T_1 E_1 qui en résulte montre que la f. é. m. du générateur est en phase avec l'intensité.

Supposons maintenant que l'on fasse varier le champ d'excitation du moteur tout en maintenant constant celui du générateur.

Quand l'excitation du moteur est faible, comme O e (fig. 2), nous remarquons que l'intensité avance sur la f. é. m. du moteur et retarde sur la f. é. m. du générateur.

Quand e se trouve exactement opposé à c, le courant c retarde sur E.

Quand E et c ont la même phase (intensité minimum) c retarde sur e.

Si la valeur de e est encore augmentée, c avance sur E et retarde sur e.

Ceci démontre l'action de condensation d'un surcroît d'excitation dans un moteur synchrone remarquée par le professeur S. P. Thompson et d'autres.

On sait qu'une avance de l'intensité renforce le champ d'un générateur et affaiblit celui d'un moteur, tandis qu'un retard de cette intensité produit l'action inverse.

On peut donc dire que quand le champ d'excitation du moteur est faible, les champs des deux machines, moteur et générateur, sont affaiblis par la réaction de l'armature, et sont, au contraire renforcés si le moteur est surexcité.

Lorsque les deux machines travaillent avec un minimum d'intensité, la réaction de l'armature renforce le champ du moteur sans affecter celui du générateur ; si aucune action ne se produit dans le champ du moteur, celui du générateur s'affaiblit.

Pendant le fonctionnement normal, le champ du moteur est excité dans une proportion plus que nécessaire pour obtenir le minimum d'intensité ; car, si les pertes $c^2 R_1$ sont minimum et le rendement maximum quand l'intensité est au minimum, il est préférable d'augmenter la force contre électromotrice jusqu'à une certaine valeur, afin de pouvoir parer aux variations accidentelles de la charge.

Dans les conditions ordinaires de travail, la réaction de l'armature a pour effet de renforcer le champ d'excitation du moteur et aussi celui du générateur, mais dans une plus faible mesure.

L'auteur termine par la recherche d'une expression donnant en ampères-tours l'altération du champ d'excitation due à la réaction de l'armature.

Admettons que φ soit le déplacement de phase de l'intensité sur la f. é. m. de la machine ; n le nombre de tours de fils dans une section de l'armature ; i l'intensité moyenne et $i_0 \sin pt$, la valeur instantanée de l'intensité, de sorte que i_0 soit sa valeur maximum.

Admettons en outre, ainsi qu'on le fait ordinairement, que l'altération dans l'excitation est représentée par l'expression

$$i n \varphi$$

dans laquelle φ exprime une mesure circulaire.

Ce n'est pas à l'intensité moyenne qu'est due la réaction, mais à la valeur moyenne de l'intensité dans un angle φ de chaque côté de sa valeur maximum ; la valeur vraie de l'intensité s'obtient par

$$I = \frac{p}{2\varphi} \int_{\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)\frac{1}{p}}^{\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right)\frac{1}{p}} i_0 \sin pt \, dt \qquad (2)$$

$$= \frac{i_0}{\varphi} \sin ,\varphi$$

et comme $i_0 = \sqrt{2}\, i$, on a :

$$I = \frac{\sqrt{2}\, i}{\Phi} \sin \varphi.$$

Ainsi l'expression qui donne l'altération du champ d'excitation en ampères-tours est

$$2 I n \varphi$$

ou

$$2 \sqrt{2}\, i n \sin \varphi. \qquad (3)$$

Pour trouver l'excitation totale, il faut ajouter ou soustraire l'expression (3) des ampères-tours du champ selon que l'intensité avance ou retarde dans le générateur et retarde ou avance dans le moteur.

BIBLIOGRAPHIE

La mécanique générale américaine à l'Exposition de Chicago, par GUSTAVE RICHARD. Gr. in-8° de 630 p avec 1441 fig. dans le texte. Paris 1896. *J.-B. Baillière et fils*, éditeurs.

Les Américains ont la réputation bien méritée d'être des mécaniciens de premier ordre : « C'est un peu par paresse, nous disait un yankee de vieille souche. Vous connaissez le proverbe qui assure que ce défaut est mère de l'industrie ; c'est absolument exact. Il nous faut des machines pour faire notre travail et puis des machines pour construire ces machines ; on n'a pas à se donner beaucoup de mal, et une bonne invention rapporte gros ». Que ce soit pour cette raison ou pour une autre, l'industrie mécanique a pris en Amérique un développement énorme et atteint un état de perfection très grand. Tous ceux qui ont visité l'Exposition de Chicago et les grandes usines américaines y ont trouvé plus d'un enseignement, tant par la variété de types de machines employés que par l'originalité de certains d'entre eux.

En qualité de commissaire rapporteur du gouvernement français à l'exposition de Chicago, M. G. Richard vient de publier un important ouvrage consacré à la mécanique générale américaine. Nul mieux que lui n'était désigné pour cette tâche ingrate et difficile à laquelle l'avaient préparé ses publications antérieures sur les moteurs et les machines-outils.

Il a pu ainsi, faire un choix judicieux parmi les innombrables types de machines exposés et faire une œuvre utile qui a sa place marquée dans toutes les bibliothèques spéciales et que les constructeurs en particulier consulteront avec le plus grand fruit, car l'auteur s'est astreint à publier sur tous les appareils décrits des renseignements assez détaillés et des dessins en nombre suffisant pour en permettre la construction par un ingénieur compétent.

Les sujets traités se rapportent presque tous à la génération de la force motrice et à sa transmission. Seuls, les appareils de levage : ascenseurs, monte-charges, ponts-roulants, treuils, palans, transporteurs à câbles aériens, crics et vérins, font exception. Les autres chapitres sont consacrés : le premier aux chaudières et à leurs appareils accessoires, soupapes, injecteurs, réchauffeurs d'alimentation; on trouve également dans ce chapitre la description des foyers au pétrole qui étaient employés à Chicago sur une si vaste échelle. Le second chapitre contient la description des machines à vapeur fixes et locomobiles ; il comprend l'étude des appareils de distribution et de régulation et des

condenseurs, ainsi que les détails de construction sur les bâtis, les paliers, les bielles, les pistons, les volants.

La description des moulins à vent et des moteurs hydrauliques qui occupe les deux chapitres suivants est certainement une des parties les plus intéressantes de l'ouvrage. L'utilisation de la force motrice du vent est beaucoup plus répandue aux Etats-Unis qu'on ne se le figure généralement. C'est par centaines de mille qu'on y compte les moulins à vent d'une puissance souvent considérable; ils servent à l'irrigation des prairies, ou à l'élévation des eaux pour les usages domestiques, à l'actionnement des machines-outils dans les fermes, etc. Il en existait, en 1893, d'après M. Gustave Richard, plus de 500 000 aux Etats-Unis, établis au sommet de tourelles carrées en bois et qui donnent parfois au paysage un curieux aspect.

De même, les turbines sont très répandues aux Etats-Unis : « On évalue, dit M. G. Richard, à 1 200 000 chevaux la puissance des chutes d'eau qu'elles y utilisent dans ces installations parfois extrêmement remarquables : plus de 20 000 chevaux à Holyhoke, 12 000 à Portland, sans parler du Niagara ». Aussi les inventeurs et les constructeurs n'ont-ils pas épargné leurs peines pour arriver à établir les turbines à la fois abordables comme prix et d'un bon rendement.

Le cinquième chapitre est consacré aux pompes à vapeur; la partie consacrée aux pompes à incendie est partitulièrement intéressante, les pompes à incendie américaines étant très peu connues en France, et les documents publiés étant très complets.

Le chapitre VI est consacré aux appareils de levage et le chapitre VII aux mécanismes : paliers, roulements sur billes et galets, embrayages, courroies, poulies, transmissions funiculaires, chaînes, engrenages. La description des roulements à billes et des procédés de fabrication des billes est toute d'actualité dans un moment où l'application des roulements à billes aux véhicules de toutes sortes prend un développement considérable.

Enfin, une annexe qui ne comprend pas moins de 150 pages, complète le corps principal de l'ouvrage par la description des appareils trop nouveaux pour que leur étude ait pu être faite au retour de l'Exposition de Chicago.

G. PELLISSIER.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Paris. — Éclairage et traction. — Le projet d'éclairage électrique de l'avenue de l'Opéra, à l'aide de 20 foyers alimentés par l'usine des Halles, vient d'être adopté par le Conseil municipal dans la séance du 22 avril dernier.

La dépense nécessaire à la réalisation de cette amélioration sera de 20 000 francs.

Le projet de délibération dont nous avons parlé lors de sa soumission au Conseil municipal (Voir *Écl. Élect.*, t. VII, p. 235, 2 mai 1896) ayant pour objet la substitution de la traction mécanique à la traction animale sur les lignes de tramways concédées à la Compagnie des Omnibus, a été adopté dans la séance du 24 avril dernier.

L'enquête portera non seulement sur les avantages et désavantages qui peuvent résulter pour la population parisienne de ladite transformation, mais aussi sur le mérite et le choix des divers système de traction susceptibles d'être adoptés.

Des décisions ont été également prises par le Conseil municipal en vue de l'installation sur les côtés nord et est de la place de la République, de 6 refuges avec candélabres électriques.

Le Conseil a en outre autorisé la mise en exécution du projet présenté pour l'éclairage électrique de l'avenue de Saint-Ouen, entre la rue Legendre et la porte de Saint-Ouen, et du square des Épinettes.

Attigny (Ardennes). — Éclairage. — L'éclairage électrique fonctionne depuis quelque temps dans différents établissements et usines d'Attigny mais seulement à titre particulier chez les uns comme chez les autres.

Grâce à l'initiative de M. L. Canon la ville elle-même va bientôt s'affranchir de l'état d'exception. Cet industriel se propose en effet de créer un réseau d'éclairage électrique dont le point de départ

sera dans le quartier de la Gare où sont installés les appareils de production de courant. Les fils de distribution seront répartis dans tous les points de la ville, mettant de cette façon, l'éclairage électrique à la portée de tous les habitants.

Briançon (Hautes-Alpes). — *Éclairage.* — Les travaux entrepris déjà depuis plusieurs années pour l'installation d'une usine électrique appelée à assurer l'éclairage des casernes et des magasins militaires de la ville, du faubourg Sainte-Catherine et du fort des Têtes, viennent d'être terminés, et malgré diverses difficultés dues au froid intense qui règne souvent dans ces régions, la distribution d'énergie a fonctionné très régulièrement.

D'après la *Revue du Génie* la force motrice a été demandée à la Ceyrverette, et c'est près de ce cours d'eau qu'on a construit l'usine en question. A l'intérieur des bâtiments militaires, les lampes à incandescence sont, en général, de 8 bougies; pour l'éclairage des cours, on a adopté des lampes de 16 et de 32 bougies. Pour maintenir la dépense au même chiffre que celle qu'entraînait l'emploi des lampes à pétrole, on a dû se contenter de 0,15 à 0,20 bougie par mètre carré de surface.

Au total, y compris le cercle des officiers, on a installé pour les besoins militaires 661 lampes fournissant ensemble 5 488 bougies. L'énergie électrique alimente aussi deux moteurs : l'un de 12 chevaux au fort de Randouillet actionne le grand câble transporteur qui va de Sainte-Catherine au fort de l'Infernet; l'autre de 6 chevaux, fait mouvoir la transmission générale des ateliers de l'arsenal d'artillerie.

Dans la ville de Briançon, les principaux monuments publics, les rues et les avenues possèdent l'éclairage électrique alimenté par la même usine. On voit donc par là que la population civile a profité des avantages dus à la création d'une station centrale d'électricité.

Bourges. — *Traction.* — Le Conseil municipal de Bourges est sur le point de traiter avec M. Grégorwicz, représentant la Société Nouvelle Électrique et d'arrêter les termes de la convention à établir entre la ville de Bourges et la Société Nouvelle Électrique.

M. Grégorwicz prend l'engagement de fournir 55 000 kilomètres-voitures en faisant des départs toutes les 5 minutes sur les lignes principales.

Cette installation complète, prête à fonctionner, coûtera 1 015 000 fr environ.

Châlons (Marne). — *Traction.* — Nous apprenons que la ville de Châlons-sur-Marne va être dotée d'un réseau de tramways électriques. Le Conseil municipal de cette ville s'est activement occupé de traiter la question dès les premiers projets soumis à son examen. Les travaux d'établissements des tramways électriques, relatifs au tracé adopté, ont été commencés dès les premiers jours de mai. On procède en ce moment à la pose de rails près de la porte Saint Jean.

Charquemont (Doubs).—*Éclairage.*—Les installations particulières pour l'éclairage électrique seront achevées pour la fin du mois.

Celles pour l'utilisation de l'électricité comme force motrice, seront achevées en juillet.

Des villages de la montagne qui ont traité avec la « Société des forces électriques de la Goule », c'est Charquemont qui verra son installation la première achevée; car c'est de ce village qu'est parti le mouvement de progrès qui a conduit les principaux centres du plateau à adopter la lumière et la force électrique.

Dijon. — *Éclairage et traction.* — L'éclairage électrique à Dijon prend de jour en jour des proportions d'extensions considérables. Nous apprenons qu'une nouvelle convention vient d'être passée entre la ville et la Société Dijonnaise d'Électricité, convention par laquelle la ville concède à la susdite Société le droit d'établir sur les voies publiques, des canalisations aériennes ou souterraines ainsi que les appareils complémentaires servant à la distribution de l'énergie électrique.

Cette autorisation est concédée pour une période de 27 années prenant fin le 1er janvier 1924, sans aucun privilège ni monopole; la ville se réserve la faculté d'accorder d'autres autorisations analogues a qui bon lui semblera, et dans telles conditions qu'elle avisera, soit pour l'éclairage ou pour le transport de force par l'électricité ou autre. Le permissionnaire actuel ne pourra prétendre à aucune indemnité en raison des nouvelles autorisations accordées par la ville.

La Société Dijonnaise d'Électricité s'engage à fournir gratuitement le courant pour l'éclairage de différentes salles et escaliers de l'Hôtel de Ville.

Enfin si le traité n'est pas renouvelé d'un commun accord à son expiration, la municipalité pourra acquérir les usines, le matériel et les canalisations dont la valeur sera déterminée par des experts, nommés au nombre de trois, l'un par la

ville, l'autre par la Société Dijonnaise et le troisième par le président du tribunal civil de Dijon

Si pour un motif quelconque la Société venait à cesser l'exploitation du réseau, les fils en seraient simplement coupés sans toucher à la canalisation.

Le Conseil municipal a ensuite examiné le rapport formulé par le Conseil municipal de Villy-le-Moutiers se rapportant à la création d'un tramway électrique entre Dijon, Villy-le-Moutiers et Verdun (Côte-d'Or). Ce projet qui avait été voté à l'unanimité par le Conseil municipal de Villy sera soumis aux municipalités des villes intéressées avant son adoption.

Draguignan. — Éclairage. — Après bien des hésitations, la municipalité de Draguignan avait enfin adopté un projet d'éclairage électrique (Voir *Éclairage Électrique*, t. V, p. 137, 19 octobre 1895) Nous apprenons que la station centrale va pouvoir très prochainement alimenter son réseau. D'autre part, les travaux d'installation sont poussés activement. La ligne aérienne est entièrement terminée sur les promenades et dans les principales artères de la ville. Dans de nombreux établissements, cafés, cercles, salles de concerts, etc., tout est placé et n'attend plus que le courant.

On pose actuellement les isolateurs devant supporter les câbles de descente qui seront reliés aux candélabres et aux appliques. Tout porte à croire que les boulevards seront éclairés à la lumière électrique vers la fin du mois prochain.

Illiers (Eure-et-Loire). — Éclairage. — La question de l'eclairage électrique d'Illiers va recevoir une solution ; la ville, ne pouvant à elle seule supporter les frais d'installation, a prévu dans son traité la constitution d'une société locale.

Un comité formé de différentes personnes compétentes est chargé de procéder à tous les travaux préparatoires en but d'arriver à la constitution définitive de la Compagnie des Eaux et de l'éclairage électrique d'Illiers.

Le Mans. — Traction. — Le Préfet du département de la Sarthe, vient de prendre l'arrêt suivant, en date du 24 avril.

Article premier. — Une enquête d'utilité publique d'un mois sera ouverte du 28 avril inclus au 27 mai 1896 inclus, sur l'avant-projet d'un réseau de tramways électriques dans la Ville du Mans. Ce réseau comprend les trois lignes suivantes :

1° De la Gare à l'extrémité de la rue des Maillets ;

2° De la place de la Croix-d'Or à l'Octroi de la route de Paris ;

3° De l'Hôpital à la Place de la Lune de Pontlieue.

Art. 2. — Pendant ce délai, les pièces de l'avant-projet resteront déposées à la Mairie du Mans, où elles seront communiquées sans déplacement aux personnes qui en feront la demande. Un registre sera ouvert pour recevoir les observations qui pourront être présentées sur l'entreprise projetée.

Art. 3. — La commission départementale déléguée à cet effet par le Conseil général, dans sa séance du 22 août 1895, et le Conseil municipal du Mans se réuniront extraordinairement pour délibérer et émettre leur avis sur le projet.

Art. 4. — La Chambre de commerce du Mans sera également appelée à délibérer et à exprimer son opinion sur l'utilité et la convenance de l'entreprise.

Art. 5. — A l'expiration du délai d'un mois, fixé par l'article premier, une commission, composée de sept membres, se réunira à la mairie du Mans, pour examiner les observations consignées ou annexées aux registres d'enquête et les pièces de l'avant-projet ; elle entendra les ingénieurs du département et toutes personnes qu'elle croira devoir consulter. Après avoir recueilli les renseignements dont elle aura besoin, elle donnera son avis motivé tant sur l'utilité de l'entreprise que sur les diverses questions posées par l'administration ou soulevées au cours de l'enquête.

Ces diverses opérations dont la Commission dressera procès-verbal devront être terminées dans un délai de quinze jours.

Marennes (Charente-Inférieure). — Éclairage. — Le Conseil Municipal de Marennes a examiné la proposition relative à l'éclairage électrique de la ville déposée par M Cavillon, entrepreneur de l'éclairage électrique du Casino de Foncillon. Il s'offre d'éclairer électriquement une partie de la ville, qui aurait en plus à payer 3 500 francs pour l'éclairage pendant les trois mois de la saison. M. Cavillon, réunissant ce nouveau traité avec celui du gaz, deviendra concessionnaire exclusif de l'éclairage électrique jusqu'au 16 avril 1940. Il sera pendant le cours de cette période, le maître exclusif de ses tarifs pour l'éclairage privé ; pour

'éclairage public, le prix maximum fixé dans le cahier des charges pourra être abaissé tous les cinq ans d'un tiers de la diminution consentie à la Ville de Paris par ses sociétés d'éclairage.

Le Conseil a accepté la proposition sans discussion.

Neufchâtel (Doubs). — Transport de force. — MM. Magnin, Ritter et Cie ont formé depuis longtemps le projet d'utiliser les forces motrices de la Haute-Loue, au profit de Besançon,

Au mois d'octobre dernier, la réalisation d'un capital de 2 500 000 fr leur était assurée, sur présentation aux capitalistes des contrats fermes avec les principaux industriels pour la location assurée de 3 000 chevaux-vapeur, vendus à Besançon. Un prix moyen limite leur avait été fixé.

Malheureusement pour le projet, on aurait voulu avoir à cent francs, rendu à Besançon, le cheval-vapeur de 24 heures, travaillant 365 jours par an.

En outre, il résultait d'une entente avec des financiers de premier ordre, que le projet global d'utilisation des forces motrices de la Loue, était divisé en deux périodes.

Dans la première, il était émis pour 2 500 000 fr d'actions, représentant la création et le transport de 3 000 chevaux-vapeur à Besançon.

Dans la seconde, qui devait suivre immédiatement la première, 1 500 000 fr d'obligations devaient assurer le service de l'installation et de la distribution de la lumière électrique.

La situation est encore entière. Mais la compagnie, en voie de formation en France, pour mettre en valeur les découvertes de M. Moissan avec le four électrique, se préoccupe d'accaparer, dans ce but, toutes les grandes forces motrices de l'Est ; elle a jeté les yeux sur les deux principaux cours d'eau de la région, la Loue et le Doubs.

Si elle devient maîtresse de ces forces, l'installation de l'électricité dans cette région sera retardée.

Oran. — Traction. — La population orannaise qui avait demandé avec tant d'insistance l'éclairage électrique, a, on se le rappelle (*Éclairage Électrique*, t. II, p. 573) obtenu cette faveur. Elle va voir sous peu ses vœux comblés au delà de toute limite, car nous apprenons que la ville d'Oran sera sous peu dotée de tramways à traction électrique.

M. Briant, ingénieur de la Maison Faye a remis dernièrement au maire d'Oran un avant-projet, qui a été transmis à la Préfecture pour être envoyé à M. le Ministre des Travaux publics, conformément au décret du 18 mai 1881.

Le tracé projeté n'a fait l'objet que d'une seule modification en ce qui concerne les bas quartiers.

Le Conseil Municipal avait laissé à M. Faye la faculté d'établir sa ligne de la marine soit dans la rue d'Orléans, soit dans la rue Charles-Quint. Cette dernière présentant des déclivités assez accentuées, le concessionnaire a choisi la rue Charles-Quint.

Le réseau projeté comporte 6 lignes allant dans les directions suivantes : 1re ligne : Du quai de la Douane à la place d'Armes, par le boulevard Malakoff et la rue des Jardins ; 2e ligne : De la place d'Armes à l'École Normale, par le boulevard du 2e Zouaves, le boulevard National et la route de Tlemcen ; 3e ligne : Place d'Armes aux portes de Valmy, par le boulevard Sébastopol et le boulevard d'Iéna ; 4e ligne : Place d'Armes à la Gare, par le boulevard Séguin, le boulevard de Magenta et le boulevard Marceau ; 5e ligne : Place d'Armes à « Ma Compagnie » par le boulevard de Magenta et la rue Mostaganem ; 6e ligne : Place d'Armes à la place Gambetta, par le boulevard Séguin et la rue d'Arzew.

Ces itinéraires pourront être changés d'un commun accord, avant l'exécution des projets définitifs.

Néanmoins, cette question recevra une prompte solution. M. Faye espère pouvoir inaugurer les premières lignes au mois de janvier prochain.

Paimpol (Côtes-du-Nord) — Éclairage. — La municipalité de Paimpol vient d'informer le public que des propositions pour l'installation de l'électricité dans cette ville lui ont été faites par M. Rousseau, de Paris, ainsi que par M. de Fages, de Lannion ; ces deux projets sont déposés à la mairie où une commission spéciale est chargée de les examiner.

Puteaux. — Fabrique de carbure de calcium. — Nous empruntons à la *Revue Industrielle* du 25 avril 1896, l'information suivante :

M. Patin, ingénieur-constructeur électricien qui, tout récemment, vient d'établir une usine à Puteaux pour la distribution de la force motrice et de l'éclairage électrique dans la banlieue ouest de Paris, va utiliser le courant électrique de cette importante station (2 000 chevaux) pour la fabrication du carbure de calcium destiné à l'éclairage par l'acétylène. Très prochainement, l'usine française

sera en mesure de fournir ce produit qui, actuellement, nous vient en grande partie de Suisse ou d'Amérique.

Vence (Alpes-Maritimes. — Éclairage et force motrice. — Le Conseil Municipal s'est réuni dernièrement dans le but de traiter, d'une façon définitive, un projet d'éclairage électrique qui avait déjà fait l'objet d'une précédente délibération. A l'unanimité de tous les conseillers présents, le Conseil a accordé à MM. Pascal et Bourge, ou à la Société qui leur sera substituée, une concession pour l'établissement, dans la commune de Vence, d'un réseau de canalisation destiné à l'éclairage et au transport de force motrice à domicile. La durée de la concession est fixée à 50 années.

Les génératrices d'énergie électrique de la Compagnie concessionnaire seront actionnées par une turbine de 25 chevaux, utilisant les eaux du Rioux et des Sourcets, en tête de la conduite en fonte du siphon de la Nubiane.

En dehors des heures de l'éclairage public et des particuliers, la Compagnie mettra à la disposition de l'industrie 20 chevaux-vapeur qui seront répartis selon les besoins des fabricants.

Le contrat mentionne également qu'à l'expiration de la période de concession d'éclairage public et privé, transport de force, etc., l'usine ainsi que toutes les canalisations appartiendront à la commune.

Les concessionnaires promettent de mener rapidement les travaux et assurent pouvoir inaugurer la nouvelle usine le 15 octobre prochain.

Versailles. — Éclairage. — Le Conseil Municipal, réuni en séance extraordinaire, a définitivement voté la concession à la Compagnie d'Énergie électrique de l'éclairage public de Versailles.

Aux termes du traité, la Société concessionnaire fera, à ses frais, la fourniture et l'installation de tous les appareils, au parfait fonctionnement de l'éclairage électrique des voies publiques, sans aucune exception ni réserve. Il y a actuellement 1 400 becs de gaz, la Société d'énergie électrique les remplacera par 1 522 candélabres lectriques, soit 122 de plus, dont 30 lampes à arc, d'un pouvoir éclairant de 2 000 bougies.

La ville paiera 45 fr par an pour toute lampe normale fonctionnant toute la nuit, et 750 fr pour chaque lampe à arc de 8 ampères.

L'ensemble de ces paiements ne dépassera pas celui qu'elle faisait à la Compagnie du Gaz. La concession est accordée pour une période ininterrompue qui commencera à courir à dater de la distribution de l'énergie électrique et ira jusqu'au 31 décembre 1904. Bien entendu, cette concession pourra être prolongée. En tous cas, à l'expiration du traité général du 21 juin 1895 avec la Compagnie d'électricité ou, dans le cas de résiliation, pour manquement a l'une des clauses du traité particulier voté le 29 mars 1896, l'installation de l'éclairage électrique deviendra la propriété de la ville sans indemnité.

Telles sont les grandes lignes de la convention qui assure à Versailles l'éclairage électrique. Nous croyons inutile d'ajouter que la ville est en bonne voie de progression pour l'utilisation de l'énergie électrique.

CHAMBRE SYNDICALE DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES

Séance du mardi 14 avril 1896.

La séance est ouverte à 5 heures, sous la présidence de M. Meyer.

Etaient présents :

MM. Bancelin, Beau, Berne, Ebel, Harlé, Hillairet, Meyer, Radiguet, Roux, Sartiaux, Sciamra. Triquet, Violet, Vivarez.

Excusés :

MM. Bénard, Clémançon, Grammont, Mildé.

Le président informe la Chambre qu'il a reçu de la Société internationale des Électriciens, pour être distribuées aux membres du Syndicat, 300 circulaires relatives à l'Exposition d'électricité domestique qui doit avoir lieu, les 2, 3 et 4 mai, à l'hôtel de la Société d'encouragement. Ceux de nos adhérents qui voudront participer à l'Exposition collective du Syndicat devront en donner avis avant le 19 avril.

Sur la demande de M. Harlé, M. Bancelin est adjoint à la commission d'organisation de cette Exposition; il devra s'occuper spécialement de visiter les exposants et de les répartir dans les emplacements qui leur seront affectés.

Le président informe la Chambre que le Comité central procédera. le samedi 18 avril, à 8 heures du soir, à la distribution des médailles d'honneur aux ouvriers et employes comptant plus de trente années de service. Des cartes d'invitation sont à la disposition des membres de la Chambre.

Le président fera prévenir en temps utile les

membres du Syndicat dont les ouvriers seront compris parmi les lauréats.

La Chambre discute la proposition présentée par M. Barbry, ingénieur électricien à Granville, près le Havre, en vue de la création d'un bureau de contrôle dans les deux départements de la Seine-Inférieure et du Calvados.

M. Roux rappelle que M. Barbry, ancien ingénieur de la Société Nancéenne d'électricité et de la Société d'Énergie électrique, a, par sa compétence et ses relations dans la région normande, toutes qualités pour mener à bonne fin l'entreprise utile d'un bureau régional de contrôle.

Les engagements pris par M. Barbry, tant vis-à-vis de la Chambre syndicale que vis-à-vis de M. Roux, sont, d'ailleurs, exactement conformes à ceux qui ont déjà réglé les rapports établis avec M. Juppont pour la constitution d'un bureau identique dans le sud-ouest.

Dans ces conditions, la Chambre, tout en restant, d'ailleurs, étrangère au contrat personnel passé entre MM. Roux et Barbry, autorise le président à accuser à M. Barbry réception de sa lettre pour acceptation.

M. Violet, au nom de la commission des transports, donne lecture d'un rapport sur les tarifs d'expédition par chemin de fer des machines dynamo-électriques. Après discussion de cette importante étude, la Chambre vote des remerciements à sa commission et en particulier au rapporteur qui a bien voulu apporter tant d'activité et de dévouement à remplir une mission si importante pour l'industrie électrique. Elle décide que ce rapport sera publié *in extenso* et annexé au procès-verbal, ainsi que des extraits des graphiques qui l'accompagnent.

Le président est chargé par la Chambre de faire auprès du Ministre des Travaux publics les démarches nécessaires pour obtenir, non pas un remaniement des tarifs actuellement en vigueur, mais un classement plus favorable des machines dynamo-électriques dans les tarifs existants.

M. Sartiaux fait connaître que la commission du contentieux a été saisie d'une demande de renseignements relatifs à des concessions d'électricité données par diverses municipalités et dont les contrats ne contiennent aucune stipulation au sujet de la rétrocession éventuelle de la concession à des tiers.

De l'examen de cette question et de la jurisprudence qui s'y rapporte, il semble résulter qu'un concessionnaire ne peut rétrocéder ses droits sans l'autorisation du concédant, bien que le contrat soit muet sur ce point. Un concessionnaire ne peut pas non plus céder sa concession sans autorisation de la municipalité, même dans le cas où il existerait dans le contrat une clause relative à la constitution d'une garantie hypothécaire au profit de la ville.

On peut donc dire, en résumé, que le demandeur en concession doit toujours, en rédigeant le contrat, prévoir et faire introduire une clause assurant son droit de rétrocession et déterminant les conditions dans lesquelles il pourra l'exercer.

La Chambre syndicale de la Literie nous a adressé, le 16 mars dernier, une circulaire dans laquelle elle appelle l'attention des groupes syndicaux sur la perturbation résultant pour la plupart des industriels et commerçants de l'appel des réservistes et territoriaux qui se fait actuellement au mois d'octobre.

La Chambre de la Literie nous consulte pour savoir quelle serait l'époque qui conviendrait le mieux aux intérêts de notre corporation.

Il est reconnu que la période d'automne est pour l'industrie électrique une époque de grande activité et que les appels militaires qui nous enlèvent à cette date une partie de notre personnel ne sont pas sans causer à notre industrie un préjudice sérieux.

Il serait très préférable de les voir reportés aux mois de mars et d'avril, et la Chambre syndicale décide de s'associer à toutes les démarches qui seraient faites auprès des pouvoirs publics en vue de ce résultat. Il sera répondu dans ce sens à la Chambre syndicale de la Literie.

La Chambre syndicale des Mécaniciens Chaudronniers et Fondeurs nous a adressé un très intéressant rapport présenté par M. Alexis Rouart sur la question de la comparution en personne devant les Conseils de Prud'hommes. Depuis 1895, les Conseils de Prud'hommes n'admettent plus, en effet, la tolérance qui, de temps immémorial, permettait aux chefs d'industrie, par dérogation aux articles 29 et 32 du décret de 1809, de se faire représenter par une personne de leur maison munie d'un pouvoir régulier.

Il résulte de cette application rigoureuse de la loi une gêne considérable et inutile. La Chambre syndicale des Mécaniciens Chaudronniers et Fondeurs demande l'adhésion de notre Chambre à un vœu qui serait formulé auprès du Parlement dans

le but d'obtenir l'annulation des articles 29 et 32 du décret 1809 et leur remplacement par un texte nouveau plus libéralement conçu.

La Chambre remercie le Syndicat des Mécaniciens Chaudronniers et Fondeurs de l'initiative très utile qu'il a prise et s'associe sans aucune réserve au vœu qu'il a formulé. Elle donnera son adhésion à toute démarche qu'il y aurait lieu de faire dans le sens indiqué.

La Société de Prévoyance contre les accidents du travail a prié M. Harlé d'étudier spécialement la question des accidents provenant de l'emploi de l'électricité. Il a fait à ce sujet une enquête dans le but de savoir quelles étaient les prescriptions usitées à l'étranger, notamment dans les établissements qui emploient les courants alternatifs à haute tension. Il donne lecture du résumé de cette étude et demande qu'une commission soit nommée en vue de rédiger une instruction définitive. La Chambre designe MM. Hillairet et Ebel pour faire partie de cette commission qui sera, d'ailleurs, autorisée à consulter tous les membres du syndicat qui lui paraîtront désignés par leur expérience pratique pour lui fournir des indications utiles.

DIVERS

Le système international d'unités électriques en France. — Dans le *Journal Officiel* du 2 mai est publié un décret rendant obligatoire, en France, l'emploi des unités électriques adoptées par le Congrès international de Chicago de 1893.

Nous avons déjà parlé à plusieurs reprises de ces unités, principalement à propos de leur adoption en Angleterre. Faute de place, nous ne pouvons reproduire dans ce numéro, les termes du décret ; nous le ferons dans le prochain numéro.

Les moyens de transport dans les grandes oilles. — Une mission d'études techniques a été dernièrement envoyée par la ville de Berlin dans les principales grandes villes, afin de résumer le fonctionnement relatif des divers moyens de transport usités et de fournir des bases précises aux études d'installation futures. Ce n'est là assurément qu'un renseignement, mais il a sa valeur. Un volumineux rapport a été rédigé par la commission en question. En voici les conclusions générales d'après le *Zeitschrift fur Eisenbahnen :*

1° L'économie parle en faveur du système électrique à trôlet qui a contre lui l'utilisation des rails pour le retour du courant, l'encombrement des rues par les fils aériens et la dépendance d'une usine centrale ;

2° Le système employé à Budapest, avec caniveau, a l'avantage d'assurer le retour du courant dans le caniveau et de ne pas altérer la physionomie des rues, mais il est coûteux et dépend toujours d'une usine centrale ; de plus, des courts circuits peuvent se produire dans le cas d'envahissement par les eaux ;

3° Le système de Dresde, caniveau pour l'aller, retour par l'un des rails, est beaucoup plus économique que celui de Budapest, mais reste grevé des inconvenients résultant de la dépendance d'une usine centrale et de l'utilisation des rails comme conducteurs de retour ;

4° Le système des accumulateurs est indépendant de la station centrale et peut s'appliquer immédiatement sur les voies à traction animale sans encombrement aucun de la rue, mais il est coûteux et entraîne à remorquer des poids considérables ;

5° Les voitures à gaz sont économiques grâce à l'utilisation du gaz existant déjà dans les villes, mais elles sont bruyantes ;

6° Le système Serpollet est économique, mais il exige l'usage de plaques tournantes aux stations et le moteur fait perdre la plate-forme antérieure ;

7° Le système funiculaire ne paraît convenir que là où l'on a de longues et fortes rampes à franchir ;

8° La locomotive sans foyer n'offre, au moins dans les villes, aucun avantage que n'aient les autres systèmes : elle a l'inconvénient d'ajouter un moteur aux voitures, ce qui augmente la dépense ; du reste si elle ne donne pas de fumée il y a des dégagements de vapeur qui ne sont pas négligeables ;

9° L'air comprimé ne semble pas non plus donner d'avantage spécial. Par contre, il a contre lui la nécessite de tourner les voitures aux stations, le coût et l'occupation de la plate-forme antérieure.

Nous laissons, bien entendu, aux auteurs du rapport toute la responsabilité technique de leurs appréciations qui doivent être considérées comme purement documentaires.

L'électricité et les projectiles. — Des observations très curieuses viennent d'être faites au tir fédéral suisse de Winterthur. Elles ont été suivies d'expériences fort intéressantes.

Les tireurs s'étant aperçus que les balles en acier du fusil modèle 1886 subissaient, en arrivant au but des variations anormales, se sont demandé si ces déviations ne provenaient pas de l'influence exercée par les très nombreux fils de la sonnerie électrique et du téléphone tendus à droite et à gauche de la place de tir.

La commission fédérale ordonna des expériences. On fit des essais sur l'Allmend de Thonn et sur le Wyterfild à Berne. Mêmes observations A Thonn, on installa parallèlement à la trajectoire, à 40 m de distance, un courant électrique de 8000 volts par quatre câbles d'acier de 18 millimètres superposés. Afin de dessiner la trajectoire, on a placé de dix mètres en dix mètres des cerceaux en papier fin.

Les premiers essais ont été faits avec le fusil modèle 1889. L'influence du courant électrique s'est révélée immédiatement : déjà à 200 mètres, la dérivation latérale était de 24 mètres. La trajectoire dessinait donc une inflexion très marquée vers le courant électrique.

Un second essai fut fait avec le fusil japonais de 5,3 mm, inventé par le colonel Yamagath. La balle minuscule se rua sur les fils électriques, brisa deux isolateurs, suivit servilement le câble et s'y usa par le frottement.

On fit ensuite l'expérience avec de la munition d'artillerie. Les résultats obtenus n'ont pas été moins probants. On tira à 3000 m et on installa le courant électrique à partir de 2800 m, soit 200 m avant les cibles, et par les mêmes procédés. La dérivation latérale des obus fut de quatorze degrés. Les chraphnels présentèrent des phénomènes encore plus curieux. La tête du projectile, portant la fusée fai e d'un métal non magnétiquè, fut complètement déplacée ; le culot, par contre, fut attiré par le courant électrique et la gerbe des projectiles, à l'éclatement, montra de telles variations que toute la précision du tir était littéralement supprimée.

Les essais ont prouvé que la force d'attraction s'accroît géométriquement à mesure que le projectile est moins lourd et la vitesse initiale moins forte.

Ainsi, une section d'infanterie exposée à 300 m au feu de l'infanterie ennemie et qui aurait sur l'une de ses ailes un courant électrique (dynamos ou accumulateurs) n'aurait rien à craindre des projectiles ennemis. Une compagnie d'infanterie à 500 mètres serait protégée de la même façon. Même phénomène pour les projectiles de l'artillerie à 900 et 1 400 m.

Quelles seront les conséquences de cette découverte ? se demande le journal suisse à qui nous empruntons ces détails.

L'imagination peut se donner libre carrière. La première serait le retour à la munition de plomb, sur laquelle le courant électrique n'a pas d'action. Mais alors, c'est l'abandon du petit calibre, des trajectoires rasantes, des tirs à grande distance, de la pénétration intense, bref, un recul sur toute la ligne...

Violons en aluminium. — Voici qui fera danser d'aise les partisans du « métal de l'avenir ».

Les fabricants des anciens violons italiens, si renommés, seraient bien étonnés aussi et même stupéfaits d'apprendre que l'on commence maintenant à fabriquer des violons en aluminium. Sans doute, ces instruments ne résonnent, du moins jusqu'ici où ils sont encore dans l'enfance, que d'une façon ne rappelant que de loin les magnifiques sons des Stradivarius, et il est évident que le nouveau métal, ne supplantera pas d'ici à longtemps le bois dans cet usage spécial. Cependant, si, parmi les artistes on est convaincu qu'un instrument à cordes en aluminium ne peut se prêter à l'exécution artistique d'un solo, des personnes compétentes croient que le violon en aluminium peut être appelé à jouer un rôle dans la musique d'orchestre, ses sons étant pleins et riches.

Préparation industrielle de l'ozone. — On sait que dans la transformation de l'oxigène en ozone au moyen de l'effluve électrique le rendement augmente à mesure que s'abaisse la température à laquelle la transformation se produit : à 20° la proportion d'ozone n'est que de 10 pour 100 ; à 0° elle est de 15 pour 100 ; à 23° elle atteint 21 pour 100.

D'après la *Revue de Chimie industrielle*, ces faits viennent de recevoir une application dans la préparation industrielle de l'ozone. L'air est d'abord soumis à une détente considérable qui a pour effet d'abaisser sa température. Ainsi refroidi il passe entre des peignes électrisés formés de pointes de platine disposées sur des plateaux où l'on coule du plomb antimonieux.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. Mauchaussat, 32 Boulevard de Vaugirard

Tome VII Samedi 23 Mai 1896 3e Année. — N° 21

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LA FABRICATION DU CARBURE DE CALCIUM A SPRAY (ÉTATS-UNIS)

Le nombre des usines fabriquant le carbure de calcium est pour l'instant très restreint et, ainsi qu'il arrive généralement aux débuts d'une industrie nouvelle, les directeurs de ces usines sont très sobres de renseignements sur les résultats qu'ils obtiennent. Aussi avons-nous pensé qu après avoir lu les détails donnés par M. Jacquin sur la fabrication du carbure de calcium à Froges (l'*Éclairage Électrique* du 4 avril 1896 ; t. VII, p. 8) nos lecteurs liraient avec intérêt le rapport que viennent de publier les professeurs Houston et Kennelly et le docteur Kinnicutt sur les conditions de fabrication du carbure de calcium à l'usine de Spray (North Carolina) où sont utilisés les procédés Wilson. Grâce à la complaisante autorisation des rapporteurs et à celle de M. Brown, éditeur du *Progressive Age* de New-York, où ce rapport a été inséré, nous en donnons ci-dessous une traduction complète.

Des chiffres de ce rapport il résulte qu'à l'usine de Spray on obtient 9,372 livres anglaises de carbure brut ou 8,936 de carbure net par horse power et par 24 heures, soit en mesures françaises, 4,20 kg de carbure brut ou 4,01 kg de carbure net par cheval-vapeur et par 24 heures. Ces résultats concordent bien avec ceux qu'obtient M. Bullier, qui compte en moyenne sur un rendement de 4 kg de carbure par cheval et par 24 heures.

Quant au prix de revient, il serait à Spray, en admettant une marche continue des fours et une production d'une tonne anglaise par vingt-quatre heures (conditions non réalisées pour le moment) de 32,767 dollars par tonne anglaise de 906 kg, dont 14,39 dollars pour les matières premières et 18,377 dollars pour la main d'œuvre, la production de l'énergie, l'intérêt du capital engagé, l'amortissement, etc., chiffres qui correspondent à un prix de revient de 180 fr environ la tonne métrique. Mais par suite de l'intermittence du travail ce prix est de beaucoup dépassé et il ne semble pas que, pour l'instant du moins, le prix de vente du carbure de calcium en Amérique puisse être notablement inférieur à celui de 400 fr la tonne métrique auquel le livrent les usines européennes.

Il est évident toutefois que si la consommation du carbure de calcium prenait une extension considérable, ce prix pourrait être considérablement abaissé, même en supposant que le rendement par cheval-heure électrique n'augmente pas, grâce à la répartition des frais généraux sur une production plus importante. C'est en effet, ce qui résulte d'un rapport complémentaire de MM. Houston et Kennelly, que nous reproduisons à la suite de celui dont il vient d'être question. En admettant une production journalière de 5 ton-

nes anglaises et 300 jours de travail par an, ils parviennent à un prix de revient de 20,04 dollars par tonne anglaise, soit 116 fr par tonne métrique. Il est vrai que dans cette évaluation, les matières premières et la puissance électriques sont comptées à des prix très bas, qu'il faudrait sans doute majorer dans nos contrées, mais même en tenant compte de ces majorations, il ne paraît pas impossible de voir plus tôt qu'on le pense le carbure de calcium vendu 300 fr la tonne.

Rapport de MM. Houston, Kennelly et Kinnicutt

DESCRIPTION DE L'USINE

L'usine de Spray, formée de trois corps de bâtiments réunis sur une même ligne, comprend : une turbine actionnant les génératrices de courant, deux fours électriques pour la production du carbure de calcium et deux autres appareils mécaniques dont un sert pour pulvériser le coke et la chaux, l'autre pour mélanger ces deux substances qui servent à l'alimentation des fours.

Turbine. — Le moteur hydraulique consiste en une turbine Leffel, de 0,65 m de diamètre de roues d'aubes, pouvant donner 300 chevaux sous une chute de 8,53 m. Le nombre des révolutions est de 206 par minute. La manœuvre des vannes s'opère à la main et les dimensions de celles-ci sont telles qu'il suffit de les ouvrir aux trois quarts pour actionner la turbine avec la puissance ci-dessus mentionnée.

Dynamos génératrices. — La turbine est couplée par courroies à deux alternateurs Thomson-Houston, du type à 14 pôles, produisant 120 kw, avec une vitesse angulaire de 1 070 tours par minute et donnant un maximum de tension effective de 1 155 volts en pleine charge.

Chaque alternateur est excité par une dynamo Thomson-Houston du type de 110 volts, 18 ampères et 2 500 tours par minute. Les deux excitatrices sont entraînées par des courroies disposées en tandem sur deux poulies montées sur les parties extérieurs des axes des alternateurs. Les pôles des alternateurs sont directement reliés à un tableau de distribution où sont groupés les appareils de mesures du circuit primaire : voltmètres, ampèremètres, et les commutateurs.

Les conducteurs partant du tableau de distribution sont reliés à un groupe de 16 transformateurs à courant alternatif, dont 8 pour chacun des alternateurs, représentant une capacité totale de 240 kw ou 321,8 chevaux. Les transformateurs ont pour but d'abaisser la tension, qui est de 1 000 volts aux bornes des alternateurs, à 100 volts aux fours électriques. Le type employé est le Thomson-Houston n° 4, de 15 000 watts à 60 tours par minute. Le circuit secondaire de ces transformateurs alimente en parallèle deux séries de câbles allant aux fours électriques situés à quelques mètres seulement du tableau de distribution. Chaque câble, d'environ 2 cm de diamètre, est formé de 123 fils séparés. Chaque four reçoit 16 de ces câbles, 8 pour l'électrode supérieure et 8 pour l'inférieure.

Fours électriques. — Les deux fours électriques ont leurs façades ouvertes et sont situés à côté l'un de l'autre ; ils sont construits en briques, et la façade est en partie fermée par des portes en fonte. Le fond ou base intérieure de chaque four a une superficie de 91 cm × 75 cm ; la partie supérieure, élevée d'environ 2,50 m, se termine en forme de cheminée servant à l'évacuation des gaz dégagés pendant l'opération.

Une plaque de fer de 182 cm de long, 75 cm de large et 4 à 5 cm d'épaisseur occupe le fond des deux fours. Elle porte deux plaques de charbon de 91 cm de long, 75 cm de large et de 15 à 20 cm d'épaisseur. Ces charbons constituent les électrodes inférieures ; leur entretien et renouvellement n'exige que peu de dépenses car ils peuvent facilement être réparés avec les charbons qui restent de l'électrode supérieure. Cette façon d'opérer permet d'utiliser les charbons *in extremis* et de réaliser une notable économie sur la consommation.

L'électrode supérieure de chaque four est constituée par un faisceau formé de 6 charbons de 30 cm sur 20 cm de côtés et 90 cm de long et d'un poids d'environ 14 kilogrammes. Ces charbons sont réunis côte à côte et placés dans une enveloppe protectrice en fer. Les interstices sont remplis avec un mélange de coke pulvérisé et de goudron versé à chaud, de sorte que les charbons et l'enveloppe deviennent solidaires et ne forment plus qu'un bloc compact. Cette électrode est suspendue verticalement et maintenue par une mâchoire métallique fixée à l'extrémité d'une tige en cuivre de 8 cm × 8 cm qui est elle-même reliée à une chaîne passant sur une poulie fixée à la partie supérieure du four et qui va s'enrouler sur un volant placé sur le côté du tableau de distribution. Ce volant est manœuvré à la main par l'ouvrier chargé de la surveillance du four et sert à élever ou abaisser l'électrode selon les besoins. La consommation de l'électrode par heure de travail est d'environ 0,5 cm.

Matériaux.— Les matériaux employés pour la fabrication du carbure de calcium sont la chaux, le coke et, incidemment, le charbon pour les électrodes.

Pulvérisateur et Malaxeur. — Le coke et la chaux sont d'abord réduits en poudre fine par leur passage entre les cylindres du pulvérisateur avant d'être jetés, en proportions convenables, dans un appareil dont l'axe mobile est muni de palettes qui mélangent les deux substances.

Mode d'opération. — Le coke pulvérisé est passé dans un tamis d'environ 50 mailles par cm^2 et la chaux en poudre dans un de 30 mailles par cm^2. Leur mélange est fait suivant les proportions exprimées par la réaction :



$$CaO + 3C = CaC^2 + CO.$$

Dans cette équation, 56 parties (en poids) de chaux, devraient être mélangées à 36 parties de charbon pour donner, par la combinaison, 64 parties de carbure de calcium. En d'autres termes, le mélange devrait contenir théoriquement 60,87 pour 100 de chaux et 39,13 pour 100 de carbone.

Les deux substances convenablement mélangées forment une poudre homogène qui est transportée près des fours électriques. La charge de ceux-ci s'effectue en jetant quelques pelletées du mélange sur la plaque qui porte l'électrode inférieure ; la réaction s'opère en établissant l'arc entre les deux électrodes. La tension et l'intensité du courant, qui au début de l'établissement de l'arc sont sujets à de fréquentes variations, deviennent à peu près fixes au bout d'un quart d'heure ; leurs valeurs sont alors 100 volts et 1 600 ampères. Sous l'action de l'arc, dont la longueur est d'environ 7,8 cm, le mélange qui se trouve immédiatement sous l'électrode supérieure est converti en carbure de calcium fondu. Au fur et à mesure que l'on ajoute de nouvelles charges, la masse de carbure de calcium s'élève graduellement et tend à réunir les deux électrodes ; on rétablit alors l'arc en remontant l'électrode supérieure au moyen du volant de manœuvre. De temps en temps, on ajoute un peu du mélange de coke et de chaux pour entretenir la transformation. L'oxyde de carbone en ignition forme des flammes que colorent les vapeurs du calcium et qui enveloppent parfois l'électrode supérieure. On évite autant que possible cet inconvénient par une ventilation énergique qui entraîne les vapeurs et les gaz dégagés pendant l'opération.

L'ouvrier chargé de la surveillance du four en activité est placé près du tableau de distribution, à portée du volant servant à élever ou abaisser l'électrode supérieure. Son travail consiste à maintenir l'arc en observant les indications du voltmètre et de l'ampèremètre et à élever l'électrode supérieure jusqu'à bout de course de la tige de suspension. Quand cette tige est arrivée à ce point de la course, l'opération est presque terminée ; on cesse d'ajouter de nouvelles charges, mais on maintient l'arc jusqu'à ce que les portions

du mélange ajouté en dernier lieu soient converties en carbure. Le courant est alors supprimé et est envoyé à l'autre four dont l'opération commence pendant que le premier se refroidit et que le carbure de calcium produit se solidifie. Après solidification, ce carbure est enlevé du four ; le bloc de carbure obtenu possède assez grossièrement la forme d'un prisme vertical de section rectangulaire, dont la partie supérieure se termine un peu en pointe.

Une couche de scories recouvre sa surface extérieure ; ces scories contiennent du carbone, de l'oxyde, du carbonate et du carbure de calcium. Le carbure de calcium renfermé dans ce revêtement demeure en fusion pendant plusieurs heures après la cessation de l'opération.

La portion du mélange qui n'a pas été convertie en carbure varie de 50 à 75 pour 100 de la charge totale. On la retire du four éteint pour être employée dans une opération suivante, mais comme une partie du carbone de ce mélange s'est oxydé en donnant du gaz carbonique, on y ajoute un peu de charbon de bois pulvérisé pour rétablir les proportions originales.

EXPÉRIENCES ET RÉSULTATS

Deux expériences complètes furent faites dans un même four : la première le 16 et la seconde le 17 mars. Dans chacune de ces opérations, le mélange introduit et celui restant étaient soigneusement pesés et échantillonnés ; il en fut de même du carbure produit. Des échantillons du coke et de la chaux ainsi que du mélange avant et après l'opération furent placés dans des boîtes en fer blanc et étiquetés. Le bloc de carbure fut aussi soumis à une opération analogue ; on en prit des échantillons en haut, en bas, sur les côtés et au centre ; chacun des fragments fut placé séparément dans des boîtes convenablement étiquetées dont le couvercle fut soudé pour garantir les échantillons de l'humidité. Le tout fut envoyé au laboratoire de l'Institut Polytechnique de Worcester (Mass.) et soigneusement analysé.

L'énergie électrique fournie aux circuits primaires des transformateurs alimentant les fours pendant l'opération était mesurée à l'aide d'un wattmètre Thomson. Les indications des voltmètres furent contrôlées par un voltmètre Thomson.

Lorsque les électrodes supérieures étaient remontées à bout de course, le four étant vide, l'énergie fournie aux 16 transformateurs en circuit ouvert était de 3,2 kw ou 4,29 chevaux, la tension primaire étant de 1 000 volts et le courant d'excitation de 4,7 ampères.

Détails de la première expérience. — On pesa pour cette première expérience 544 kg de chaux et 362 kg de coke, on les mit ensuite dans l'appareil malaxeur.

Les analyses de ces deux substances donnèrent :

Pour la chaux :

Eau et oxyde carbonique	4,55
Silice	0,28
Acide phosphorique	0,014
Oxydes de fer et d'aluminium	1,58
» de calcium	88,86
» de magnésium	4,27
Alcalis, acide sulfurique et pertes	0,446
	100,000

Pour le coke :

Humidité	0,40
Cendres	8,60
Soufre	0,48
Phosphore	0,0055
	9,4855

Les deux matières premières dont le poids total était de 906 kg avant leur mise dans le malaxeur furent de nouveau pesées avant d'être employées ; le poids total n'était plus que 863 kg, la perte dans le malaxeur et dans le transport était donc de 44 kg.

L'analyse du mélange montra qu'il contenait :

Oxyde de calcium	451,9 kg	ou 52,32 pour 100
Charbon	321,1 kg	ou 37,3 »
Résidus, oxydes de magnésium, de fer, d'aluminium, oxyde carbonique, humidité, etc.	90 kg	ou 10,38 »

L'opération au four dura trois heures. L'intensité moyenne du courant primaire fut de 156 ampères et la tension moyenne de 1 000 volts, ce qui correspondait à une intensité moyenne totale de 1 560 ampères et une tension de 100 volts dans le circuit secondaire alimentant les fours. L'énergie électrique fournie aux circuits primaires des transformateurs fut de 454,8 kilowatts-heures ou 609,7 chevaux-heures, chiffres représentant une puissance moyenne de 151,6 kilowatts ou 203,2 chevaux. En admettant une perte de 5 pour 100 dans les transformateurs, l'énergie correspondante fournie au four était de 432,1 kilowatts-heures, ou 579,2 chevaux-heures, ce qui représentait une puissance moyenne de 144 kilowatts, ou 193,1 chevaux.

Le four fut vidé dans la matinée du 17 mars. Le carbure de calcium recueilli pesait 102,71 kg et le poids du mélange non converti était de 603,46 kg.

Le bloc de carbure était recouvert d'une couche de scories contenant elles mêmes du carbure de calcium, car en traitant ces scories par l'eau il s'en dégageait un peu d'acétylène ; les autres matières étrangères contenues dans ces scories représentaient un poids de 4,53 kg laissant ainsi un bloc de carbure de calcium net de 98,18 kg.

Le nombre de centimètres cubes de gaz humide dégagés par 0,4535 kilogramme (livre anglaise) de carbure sous la pression d'une colonne de mercure de 75,90 cm à la température de 15° centigrades fut

Fond de la masse, moyenne de trois déterminations	131,40 litres
Centre de la masse, moyenne de trois déterminations	134,40 »
Partie supérieure du bloc, moyenne de trois déterminations	139,16 »

Un échantillon du même poids prélevé sur la masse totale donna comme moyenne de 4 déterminations 133,84 litres de gaz humide.

L'analyse du mélange non converti donna :

Oxyde de calcium	329,27 kg ou	54,55 pour 100
Charbon	208,33 kg ou	34,49 »
Résidus, oxyde de magnésium, bioxyde de carbone, humidité, etc.	65,86 kg ou	10,96 »
Total	603,46 kg ou	100,00 »

Détails de la seconde expérience. — Cette deuxième épreuve fut conduite d'une façon analogue à la première. 562,34 kg de chaux pulvérisée furent mis avec 362,80 kg de coke également pulvérisé dans le malaxeur ; ces quantités représentaient un poids total de matière de 925,14 kg.

L'analyse de la chaux donna :

Eau et oxyde carbonique	4,02 pour 100
Silice	0,34 »
Acide phosphorique	0,015 »
Oxyde de calcium	89,00 »
Ammoniaque, acide sulfurique et pertes	0,605 »
Oxyde de magnésium	4,38 »
Oxydes de fer et d'aluminium	1,64 »
	100,00 »

L'analyse du coke :

Humidité	0,50 pour 100
Cendres	8,50 »

Les deux substances convenablement mélangées furent enlevées du malaxeur et portées à proximité du four pour en opérer la charge ; là le mélange accusait dans une nouvelle pesée un poids de 898,68 kg ; d'où une perte de 26,46 kg due au transport et à l'opération du mélange. L'analyse de ce mélange donna :

Oxyde de calcium	466,09 kg ou	54,50 pour 100
Charbon	307,21 kg ou	35,97 »
Résidus, oxydes de magnésium, d'aluminium, bioxyde de carbone, humidité, etc.	119,00 kg ou	9,53 »
Total	892,30 kg ou	100,00 »

La durée de l'opération fut de 2 heures 40 minutes.

La quantité totale d'énergie électrique fournie au circuit primaire des transformateurs fut de 408,9 kilowatts-heures, ou 548,1 chevaux-heures, ce qui représente une puissance moyenne de 153,4 kw ou 205,6 chevaux.

En admettant une perte d'énergie de 5 pour

100 dans les transformateurs, celle fournie au four était encore de 388,5 kilowats-heures ou 520,7 chevaux-heure, représentant une puissance moyenne de 145,7 kw ou 195 chevaux.

Le mélange non converti, retiré du four environ 2 heures et demie après la cessation de l'opération, pesait 685,13 kg et contenait :

Oxyde de calcium.......	357,76 kg ou 54,80	pour 100
Charbon................	222,57 kg ou 34,13	»
Résidus, oxydes de magnésium, de fer, d'aluminium, bioxyde de carbone, humidité, etc....	104,80 kg ou 11,01	»
Total.......	685,13 kg ou 100,00	»

Le bloc de carbure de calcium produit avait un poids brut de 92,06 kg. L'enveloppe de scories, évaluée à 4,53 kg, laissait un poids de carbure net de 87,53 kg.

Un échantillon pris en diverses parties du bloc de carbure donna, comme moyenne de 4 déterminations, 142 litres de gaz acétylène humide par livre anglaise (453,5 gr) sous la pression d'une colonne de mercure de 75,90 cm à la température de 15° centigrades.

Les résultats des deux expériences peuvent être résumés dans les tableaux suivants :

	1re épreuve	2e épreuve	1re et 2e ép. réunies
Coke du commerce, à 90,51 % de pureté...	362 kg	363 kg	kg
Chaux du commerce, à 88,86 % ou 89 %....	544 »	562 »	
Quantité de deux matières mises dans le malaxeur.........	906 »	925 »	
Matières retirées du malaxeur :			
Charbon.............	321,1 »	307,2 »	
Oxyde de calcium....	451,9 »	466,1 »	
Résidus..............	90 »	119,0 »	
Charge des fourneaux	863,0 »	892,3 »	1755,3 »
Composition du mélange non converti :			
Charbon.............	208,3 »	222,5 »	430,8 »
Oxyde de calcium....	329,3 »	357,7 »	687,0 »
Résidus..............	65,8 »	104,8 »	160,6 »
Carbure de calcium...	87,5 »	87,6 »	175,1 »
Scories.............	4,5 »	4,5 »	9 »
Totaux.........	695,4 »	777,1 »	1472,5 »
Charbon consommé pour le carbure de calcium............	54,7 »	49,2 »	103,9 »
Perdu dans le four....	58,1 »	36,5 »	94,6 »
Total........	112,8 »	85,7 »	198,5 »
Oxyde de calcium pour la production du carbure...............	85,8 »	76,4 »	162,2 »
Oxyde de calcium perdu dans le four	36,0 »	32,1 »	68,1 »
Quantité d'oxyde dépensée............	121,8 »	108,5 »	230,3 »
Dépense de coke pour la perte de carbone..	124,8 »	94,2 »	219,0 »
Dépense de chaux pour la perte d'oxyde	136,0 »	94,2 »	230,2 »
Quantité dépensée ...	260,8 »	188,4 »	449,2 »
Dépense de coke par kg de carbure net ...	1,271 »	1,077 »	1,18 «
Dépense de chaux par kg de carbure net ...	1,397 »	1,403 »	1,40 »
Dépense de coke par kg de carbure brut...	1,215 »	1,024 »	1,125 »
Dépense de chaux par kg de carbure brut...	1,335 »	1,335 »	1,335 »

Quantité d'énergie fournie aux fours :

1re épreuve	2e épreuve	1re et 2e épreuves réunies
579,2 chev-h	520,7 chev-h	1 099,9 chev-h
24,13 » jours	21,7 » jours	45,83 » jours
432,1 kw-h	388,5 kw-h	820,6 kw-h

	1re épreuve	2e épreuve	1re et 2e ép. réunies
Carbure brut par cheval-heure...........	0,180 kg	0,178 kg	0,179 kg
Carbure net par cheval-heure	0,172 »	0,170 »	0,171 »
Carbure brut par cheval-jour.............	4,320 »	4,270 »	4,295 »
Carbure net par cheval-jour	4,124 »	4,081 »	4,102 »
Carbure brut par kilowatt-heure	0,2378 »	0,237 »	0,2374 »
Carbure net par kilowatt-heure	0,2273 »	0,2253 »	0,2263 »
Gaz humide dégagé par kg de carbure net à la pression d'une colonne de mercure de 75,9 cm à 15° centigrades.	287,5 lit	302 lit	294,5 lit
Gaz humide dégagé (même pression) par kg de carbure net....	298 »	318 »	308 »

Gaz humide par cheval-jour	2680 »	2828 »	2704 »
Gaz sec par kg de carbure pur (rendement théorique)		368 »	

PROCÉDÉS ET RÉSULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES

L'analyse de la chaux employée nous a montré qu'à part un peu d'excès en oxyde de magnésium sa qualité était excellente. Elle ne contenait qu'une très faible proportion de phosphate de calcium, ce qui convient du reste car pendant la réaction tous les phosphates se convertissent en phosphures qui, dans le traitement par l'eau dégagent du phosphure d'hydrogène, gaz considéré comme vénéneux et dont la présence dans le carbure de calcium est probablement aussi, en partie, la cause de l'odeur particulière de l'acétylène du commerce.

L'analyse des substances (coke, chaux) avant et après les avoir mélangées fut pratiquée de la façon suivante : le calcium était déterminé par une double précipitation à l'état d'oxalate, le magnésium par une précipitation à l'état de pyrophosphate et le charbon s'obtenait en traitant le mélange par l'acide chlorhydrique dilué, le résidu étant filtré et séché à 110° C, puis porté au rouge.

L'analyse des mélanges mis et retirés des fours, nous montra que les pertes dans les deux essais furent :

	1re épreuve	2e épreuve
Oxyde de calcium	36 kg	32,1 kg
Carbone	58,1 »	36,5 »

La grande consommation de charbon dans la première épreuve est en partie due au coke brûlé soit pendant la réaction soit pendant les 13 heures écoulées entre la suppression du courant et l'extraction des matières du four. Dans la seconde épreuve le contenu du four fut retiré graduellement et presque aussitôt la rupture du circuit électrique.

Les pertes des matières premières sont surtout dues aux manipulations encore imparfaites de ces substances avant et après leur mise au four, et aussi à la disposition de l'usine. Une grande partie de ces pertes pourrait être évitée avec des fours mieux disposés.

La prise des échantillons de carbure est une opération délicate à cause de la différence assez notable de rendement en gaz suivant l'endroit où se fait la prise ; pour obtenir un résultat exact il aurait fallu briser le bloc en menus morceaux, ce qui n'était guère praticable à Spray. Aussi s'est-on contenté de faire un premier choix de fragments pris dans différentes parties du bloc et de les enfermer séparément dans des boîtes soudées, et un deuxième consistant en 12 kg prélevés dans la masse de la même façon que dans le cas précédent et placés dans une même boîte soudée.

Ces fragments furent réduits à la grosseur d'un pois avant de procéder aux analyses au nombre de trois à cinq par échantillon. Le mode d'opération suivi était le suivant : 50 grammes de carbure étaient pesés, enfermés dans un papier et placés dans un gazomètre en verre portant une graduationt et muni d'un bouchon en caoutchouc percé de trois trous ; le premier de ces trous recevait un thermomètre, le second le bec d'un récipient gradué pour mesurer la quantité d'eau entrée dans l'appareil, et le troisième un tube de dégagement des gaz. A ce dernier tube etait reliée une série de six tubes plongés dans l'eau froide. Le gaz dégagé passait dans cette série de tubes où il se refroidissait et traversait un compteur à gaz Tufts, dont l'étalonnement avait été fait la veille par l'Inspecteur de l'Etat de Massachusetts.

On observa les indications du compteur et on fit les corrections nécessaires relativement au volume d'eau employée dans la décomposition du carbure, à la solubilité de ce dernier dans l'eau et à l'augmention de volume des gaz par l'élévation de la temmérature. La température de l'eau dans le compteur, la pression et la hauteur barométrique furent également notées et les volumes ramenés à la pression d'une colonne de mercure 759 mm et à 15° centigrades. On trouva par l'analyse

que le gaz dégagé par la réaction ne contenait que des traces de sulfure et de phosphure d'hydrogène. Quant à l'hydrogène libre on ne put constater sa présence, quoiqu'il ait été dit que l'acétylène du commerce en contienne jusqu'à 1 pour 100. Une expérience faite dans le but de reconnaître la présence de l'arséniure d'hydrogène donna également un résultat négatif.

Une analyse des gaz dégagés par l'électrode supérieure, pendant la formation du carbure, donna les résultats suivants :

Oxyde carbonique	7,6	pour 100
Oxyde de carbone	76.0	»
Azote	16,4	»
	100,0	»

L'analyse quantitative du carbure du commerce est en cours d'expérience. Les résultats en seront connus et publiés sous peu.

PRIX DU CARBURE DE CALCIUM A SPRAY

Pour déterminer la valeur du carbure produit, il était nécessaire de comprendre dans l'évaluation, les taxes, impôts, licence, etc, payés par l'usine, l'amortissement du matériel et la main-d'œuvre. L'usine de Spray n'est pas exploitée dans les meilleures conditions de rendement au point de vue commercial, car n'ayant été construite que dans un but expérimental, on ne s'est pas attaché aux moyens de production les plus économiques du carbure. Néanmoins cette usine peut, en admettant un travail ininterrompu (ce qui eut lieu dans les essais faits pour établir ce rapport), fournir en moyenne 907 kg de carbure brut par jour.

L'énergie hydraulique, prise sur l'axe des turbines coûte 25 fr le cheval-an. En admettand pour les alternateurs un rendement de 88 pour 100 et pour les transformateurs 95 pour 100 le rendement net sera 83,6 pour 100 ce qui met le prix d'un cheval électrique à 29,90 fr pris au four.

L'énergie électrique employée étant en moyenne 203,2 chx celle qui est fournie par la turbine est de 230,9 chx.

En ajoutant 15 chevaux transmis aux appareils complémentaires, broyeurs, malaxeurs, l'énergie fournie par les turbines serait donc de 245,9 chevaux coûtant annuellement 6 147,5 francs.

La dépense d'installation de l'usine ne peut être déterminée d'une façon exacte, car comme il a été dit plus haut, l'usine avait été créée dans un but d'expérience. Les estimations qui suivent sont basées d'après les valeurs actuelles :

Terrain	500 fr
Bâtiments	6 250
Turbine	14 460
Station électrique	30 000
Transmissions	1 000
Broyeur, malaxeur	5 125
Cylindres	1 190
Fours	750
Matériel divers, outils	500
Total	58 775

Main d'œuvre :

1 contremaître à 20 fr par jour	20 fr
3 équipes d'ouvriers, 8 heures chacune	35
	55

Production de carbure brut par jour de 24 heures	907 kg.
Prix des matériaux : charbon pour les électrodes à environ 0,65 fr le kg; consommation par jour	4,30 fr
Coke des mines de Pocohontas à environ 22,75 fr la tonne (907 kg); consommation journalière 907 × 1,125	25,55
Chaux de la Carson Lime Company, de Riverton valant 31,15 fr la tonne (907 kg) livrée à l'usine ; consommation journalière 907 × 1,335	42,05
Total	71,90

En récapitulant, on aura pour dépenses journalières les chiffres suivants :

Matériaux par tonne (907 kg) de carbure brut.	69,25 fr
Main-d'œuvre par tonne de carbure brut	55,00
Energie hydraulique $\frac{6\,147,5}{365}$ =	16,85
Huile, chiffons, entretien, pertes, etc., à 750 fr par an	2,05
Impôts, à 500 fr par an	1,15
Intérêts du capital à 5 pour 100 (58 775)	8,15
Dépréciation et entretien des alternateurs et turbine 5 pour 100	6,05
Entretien des transmissions, bâtiments, cylindres, malaxeur 6 pour 100	2,40
Fours électriques 20 pour 100	0,10
Total	161,00

Notre estimation du prix de fabrication de carbure de calcium à Spray s'élèverait donc à 161 fr pour une production journalière de 24 heures, de 907 kg. Les matières premières sont représentées pour 69,25 fr dans cette somme.

Le prix élevé de ces matières est surtout dû au transport, qui est coûteux à Spray et élève considérablement le prix d'achat.

Le carbure ayant servi aux épreuves donnait une moyenne de rendement de 308 litres de gaz acétylène par kilogramme, et le carbure brut une moyenne de 294,5 litres par kilogramme. Théoriquement, le carbure pur devrait fournir approximativement 372 litres de gaz, lorsque celui-ci est encore saturé de vapeur d'eau à 15 centigrades. On voit donc que le rendement du carbure n'était que de 82,1 pour 100, et celui du carbure brut de 78,26 pour 100 du rendement théorique. Néanmoins l'acétylène produit était pratiquement pur.

E. Houston, A. E. Kennelly,
Dr Kinnicutt.

Rapport supplémentaire de MM. Houston et Kennelly.

Dans le précédent rapport, nous avons établi, en collaboration avec le professeur Kinnicutt, le coût de production du carbure de calcium par l'électricité à l'usine de Spray d'après les observations que nous y avons faites.

Toutefois, comme l'usine de Spray est en partie une usine expérimentale et que les frais de transport des matières premières y sont élevés, nous avons pensé qu'il était utile de joindre une estimation séparée des dépenses de fabrication du carbure de calcium sur une plus grande échelle et dans une localité où les les matières premières seraient moins coûteuses.

Nous admettons pour l'installation une puissance de production de 5 *short* tonnes (4 535 kg) de carbure brut par jour et un travail de 300 jours par an en employant l'eau comme force motrice.

Nous supposerons que la force motrice hydraulique coûte, prise à l'arbre de la turbine, 25 fr le cheval-an, y compris le loyer du sol. Nous savons que des traités ont déjà été passés à ce prix pour des forces limitées.

Premier établissement

1 200 chx turbine et installation	56 000 fr
Bâtiments	12 500
Installation électrique, dynamos, appareillage, etc	120 000
Machine à broyer et mélanger	20 000
Fours et électrodes	12 500
Outillage, produits chimiques, etc	2 500
Total	223 500

Personnel et main-d'œuvre

3 équipes de 8 heures chacune :	
1 directeur	10 000 fr
2 contremaîtres	7 500
3 ouvriers aux dynamos	6 750
» au broyage	4 500
» aux fours	4 500
3 manœuvres	4 500
Total par an	37 750

Dépenses générales

Assurance	625 fr
Charges, impôts	1 150
Intérêt à 5 pour 100 sur 1er établ.	11 175
Dépréciation à 5 pour 100 sur 1er établ	11 175
Huile, chiffons, fournitures de bureau	3 750
Total par an	27 875

Force motrice

Eau et loyer du sol 1 200 chx à 25 fr	30 000 fr

Matières premières

1 687,5 tonnes de coke, à 13,75 fr la tonne rendue	23 205 fr
2 002,5 tonnes de chaux, à 12,50 fr la tonne rendue	25 030
Charbons pour électrodes	6 450
Total	54 685

Dépenses pour 1 500 tonnes de carbure brut	150 310 fr
Coût de fabrication d'une tonne(1)	100,20

Ce coût de fabrication est évidemment subordonné aux prix des matières premières et de la force motrice, quelle que soit l'importance de l'installation.

(1) Les tonnes dont on parle sont des *short* tonnes de 906 kg.

En admettant que l'on se serve de fours parfaits, c'est à dire dans lesquels il n'y ait perte ni de matière première, ni d'énergie, c'est à dire des fours où l'union complète du carbone et du calcium puisse se réaliser sans perte et aussi sans déperdition de chaleur, nous savons, d'après les données chimiques, qu'une tonne de carbure exige pour sa production 0,875 tonne de chaux pure et 0,5625 tonne de coke pur ; on a calculé aussi, d'après les données thermo-chimiques, que 1,5 cheval-heure électrique sera précisément la quantité exacte d'énergie nécessaire pour produire 1 livre de carbure (453,5 gr) soit 3 000 chevaux-heure par tonne de carbure.

Par conséquent, si l'on désigne par :

L le prix de la chaux en francs par tonne ;

C celui du coke en francs par tonne ;

P celui du cheval-heure électrique ;

une installation théoriquement parfaite produirait le carbure, indépendamment des dépenses de main d'œuvre et de charges fixes, au prix par tonne de

$$0,875\ L + 0,5625\ C + 3\,000\ P.$$

Si la chaux (supposée pure) coûte 12,50 fr, le coke (supposé pur) 13,75 fr et le cheval électrique, pour 300 jours de 24 heures, 60 fr aux électrodes (0,8335 centimes par cheval-heure de service) le minimum de dépense de production d'une tonne dans un four parfait serait :

$$0,875 \times 12,50 + 0,5625 \times 13,75 + 3\,000 \times 0,008335 = 43,67 \text{ fr}.$$

D'autre part part dans les deux essais surveillés par nous à Spray, la tonne de carbure exigeait 1,125 tonne de coke, 1,335 tonne de chaux et 5 122 chevaux-heures. La tonne de carbure brut produite dans les conditions constatées à Spray, coûterait donc :

$$1,335\ L + 1,125\ C + 5,122\ P.$$

Et en appliquant les mêmes prix que ci-dessus :

$$1,335 \times 12,50 + 1,125 \times 13,75 + 5,122 \times 0,008335 = 74,845 \text{ fr}.$$

La consommation de charbon par les électrodes est d'environ de 4,50 fr par tonne de carbure produit, ce qui porte la dépense de matières premières et force motrice à 79,35 fr par tonne.

Nous pouvons donc nous résumer ainsi :

Le carbure de calcium ne peut pas être produit dans le four électrique à un prix inférieur à :

$$0,875\ L + 0,5625\ C + 3\,000\ P \text{ francs}$$

par tonne pour matières premières et force motrice, non compris charbons pour électrodes, main-d'œuvre, dépréciation, intérêts, etc. En réduisant les valeurs de L, C, et au minimum, la dépense s'élève approximativement à 43,67 fr par tonne (906 kg).

En raison de l'impureté des matières premières, de l'imperfection des fours électriques de Spray, ce prix est :

$$1,335\ L + 1,125\ C + 5,122\ P \text{ francs},$$

et en admettant les mêmes valeurs de L, C et P la dépense est de 74.85 fr par tonne. [1]

Dans des conditions favorables, que nous croyons pouvoir être réalisées dans certaines localités, la dépense totale pourrait être de 100 fr par tonne avec une production de 5 tonnes par jour.

Dans les conditions actuelles, constatées à Spray pendant nos essais, nous trouvons que la dépense totale est de 163,835 fr, sous la réserve que l'installation soit utilisée sans interruption.

EDWIN J. HOUSTON. – A. E. KENNELLY.

MASSE.
CAPACITÉ POUR LE MOUVEMENT

APPLICATION AUX MASSES NEWTONIENNES ET A LA LOI DITE DE L'ATTRACTION UNIVERSELLE

Après avoir donné la définition unitaire de la masse [2] qui est une synthèse générale. Je

(1) Ramenée à la tonne métrique cette équation devient

$$1,473L + 1,241C + 5,053P.$$

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 536 ; 23 mars 1895.

dois la justifier par l'étude des phénomènes et j'aborderai en premier lieu les masses newtoniennes.

On les considère encore comme proportionnelles au volume et à la densité des corps, et il est à peine besoin de rappeler que cette conception fausse est restée stérile dans son application aux phénomènes moléculaires. De sorte qu'à l'heure actuelle, l'astronomie semble échapper à la loi unitaire qui embrasse tous les phénomènes physiques.

Il n'en est rien cependant. J'ai donc été conduit à chercher dans les masses newtoniennes comme dans les autres, non pas la quantité de matière, mais la quantité de mouvement (rien de l'expression algébrique mV, dont on se sert en mécanique) absorbé et émis, ou ce qui revient au même la « capacité pour le mouvement » ([1]).

Il va sans dire qu'il n'y a pas là une sorte de capacité, d'emmagasinement, si l'on me permet cette expression, puisque les masses agissent continûment les unes sur les autres, ce qui exige un flux continuel, d'entrée et de sortie.

Et cette considération montre bien que si la masse est une capacité pour le mouvement, elle peut être considérée également comme une résistance au mouvement en vertu de ce principe que j'ai énoncé et appliqué souvent: Tout mouvement s'appuie sur une résistance et la résistance au mouvement ne peut provenir que d'un autre mouvement. Sans être arrivé encore à la conception unitaire de la masse, Lamé n'en avait-il pas l'intuition quand il appelait la masse : le coefficient de résistance au mouvement.

La masse d'un corps est donc mesurée par le flux qui y entre et qui en sort, dans un champ déterminé, et il en résulte que les masses doivent être proportionnelles aux accélérations que ce flux imprime à d'autres masses.

En sorte que, dans toute la mécanique newtonienne on doit pouvoir remplacer la masse, notion vague, pour ne pas dire plus, par l'accélération, notion précise. C'est ce que je vais démontrer.

2. Pour fixer les idées, si $g_1, g_2, \ldots$ sont les accélérations que les masses M_1 M_2, etc impriment à une même distance R à d'autres masses, on doit avoir

$$\frac{M_1}{g_1} = \frac{M_2}{g_2} = \ldots\ldots = KR^2, \qquad (1)$$

K étant une constante.

L'action $M_1 g_2$ est égale à la réaction $M_2 g_1$ et on remarquera de suite l'alternance des indices, dans ces expressions.

Des équations (1) on déduit :

$$\frac{M_1 + M_2}{g_1 + g_2} = \frac{M_2}{g_2}. \qquad (2)$$

Et cette dernière équation conduit immédiatement à la loi du mouvement relatif d'une des masses M_1, M_2 par rapport à l'autre supposée immobile.

Enfin, si dans l'expression $M_1 g_2$ on remplace g_2 par sa valeur $\frac{M_2}{KR^2}$ tirée des équations (1) on retombe sur l'expression newtonienne et l'on a

$$\text{force newtonienne} = \frac{M_1 M_2}{KR_2} = M_1 g_2 = M_2 g_1 . (3)$$

Partant du principe de l'égalité de l'action et de la réaction, Newton cherchait une seule et même expression pour l'action et la réaction. La force *mutuelle* devenait $f\frac{M_1 M_2}{R^2}$.

Le principe de réciprocité de l'action et de la réaction était bien posé, mais il n'en restait plus trace dans cette formule unique $f\frac{M_1 M_2}{R^2}$.

Telle est la principale raison pour laquelle elle est stérile dans la physique moléculaire. Si l'on observe en outre que les notions corrélatives de masse et de force newtoniennes

([1]) Les lecteurs qui ne chercheront pas dans les formules algébriques dont je suis obligé de me servir plus loin, leur sens absolu physique, ne manqueront pas de supposer (en voyant que je retombe sur les formules ordinaires newtoniennes) que j'ai pour ainsi dire enfoncé une porte ouverte. Il n'en est rien cependant, je connais suffisamment celles-ci depuis nombre d années, et il m'a fallu des années pour pouvoir écrire ce que j'écris aujourd'hui avec une certitude complète.

ne correspondent pas à une conception physique compréhensible, on s'expliquera pourquoi la mécanique newtonienne, bien que constituant une glorieuse étape dans le progrès scientifique, est restée inapplicable à une foule de phénomènes.

3. Il était naturel de chercher dans les expériences inaugurées par Cavendish une confirmation de la loi que je viens de donner, et qui permet de substituer dans l'astronomie et dans la physique newtonienne à la notion

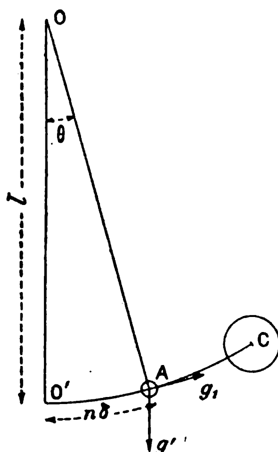


Fig. 1.

purement « algébrique » de masse, la notion très compréhensible de l'accélération.

Les expériences géniales de Cavendish et toutes celles qui ont suivi avaient et ont pour but la détermination de la masse de la terre.

Je renverserai absolument le problème, et je dirai :

La masse de la terre, que je ne cherche pas d'ailleurs à définir autrement pour l'instant, et l'accélération de la pesanteur sont constantes dans toutes ces expériences. Quelles conclusions peut-on donc en tirer ?

En procédant ainsi je suis arrivé à constater que dans ces expériences dites de *détermination de la masse de la terre on ne mesurait, en dernière analyse que des accélérations*, et que ces accélérations sont bien proportionnelles aux masses newtoniennes conformément à la loi que j'ai énoncée.

Reprenons en effet le calcul et l'expérience.

Une grosse boule C agit sur une autre A (fig. 1).

Soit $O'A = n\delta$, δ étant la longueur d'une division. L'accélération g_1 que la boule C donne à A, et l'accélération g' propre à la balance sont liées par la relation des moments qui traduit l'équilibre final

$$g_1 l = g' n \delta \quad \text{ou} \quad g_1 = g' \theta,$$

θ étant l'angle O'OA.

La formule pendulaire

$$l \frac{d^2 \theta}{d t^2} = g' \theta \text{ donne } \tau = \pi \sqrt{\frac{l}{g'}}.$$

On en déduit en vertu des équations précédentes

$$g_1 = g' \frac{n \delta}{l} = \pi^2 \frac{n \delta}{\tau^2}.$$

Il en résulte que dans la formule habituelle

$$\frac{\pi^2 n \delta}{g \tau^2} = \frac{m R^2}{M a^2} \qquad (a)$$

le premier terme n'est que le rapport de l'accélération g_1 imprimée à la boule A par la boule C, à la distance a, à l'accélération g de la pesanteur (m masse attirante, M masse de la terre, R rayon terrestre).

On voit combien ce calcul est simple.

4. Les divers savants qui ont expérimenté suivant ce procédé ont trouvé pour la densité de la terre : rapport de la masse au volume, des nombres assez rapprochés (Cavendish, 5,54, Reich, 5,58, Baily, 5,67, récemment M. Boys a donné le nombre 5,527).

Les expériences de MM. Cornu et Baille semblent devoir conduire à un nombre voisin de 5,5.

La constance du nombre M qui figure dans la formule (a), et la constance de g, ne laissent subsister comme variables dans cette formule que l'accélération g_1, la masse attirante m et la distance a.

La masse m est calculée comme proportionnelle au volume et à la densité, on voit donc que la vérification expérimentale de la formule (a) conduit a la vérification de la loi de proportionnalité des masses aux accélérations imprimées à une même distance.

Pour bien montrer que cette relation est

générale, faisons agir deux masses m, m' sur la petite masse μ ; nous aurons en vertu de l'égalité de l'action et de la réaction

$$\frac{\mu}{\gamma_1}=\frac{m}{g_1} \qquad \frac{\mu}{\gamma_1}=\frac{m'}{g'_1}.$$

Or, l'expérience prouve que $\frac{m}{g_1}=\frac{m'}{g'_1}$, il en résulte $\gamma_1=\gamma_1$ et par conséquent

$$\frac{m}{g_1}=\frac{m'}{g'_1}=\frac{\mu}{\gamma_1}=\frac{\mu}{\gamma_1}.$$

5. La présente note suffira sans doute à faire pressentir les conséquences importantes que l'on peut tirer de cette loi.

Est-elle suffisamment vérifiée par l'expérience ?

Autant que nous le sachions, on n'a guère expérimenté que le plomb comme masse attirante, ce qui s'explique par ce fait que l'on ne poursuivait que la détermination de la masse de la terre.

Seuls, MM. Cornu et Baille ont opéré sur le mercure et c'est là une circonstance heureuse pour notre vérification expérimentale.

Le plomb est assez voisin comme densité et très voisin comme équivalent du mercure. Bien donc que la savante et minutieuse expérimentation de MM. Cornu et Baille écarte tout doute, nous croyons qu'il conviendrait d'opérer sur d'autres masses et il y aurait là matière à de nouvelles confirmations, qui ne sont pas douteuses pour nous.

CLAVENAD,
Ingénieur des Ponts et Chaussées.

NOUVEAU COMPTEUR ÉLECTRIQUE
SYSTÈME ARON

Nos lecteurs connaissent le principe des compteurs Aron pour courants continus employés dans un grand nombre d'installations, principalement en Allemagne, soit pour la mesure de la quantité d'électricité, soit pour celle de l'énergie électrique. Deux pendules P et P' règlent la marche de deux mouvements d'horlogerie indépendants dont la différence de marche est enregistrée au moyen d'un mouvement différentiel ; le pendule P' oscille au-dessus d'une bobine où circule le courant et porte à sa partie inférieure un aimant permanent ou un solénoïde en dérivation sur le courant principal ; les deux pendules marchent synchroniquement quand ce dernier courant est rompu ; mais si ce courant est fermé, les oscillations du pendule P sont, par suite des forces électromagnétiques, accélérées ou retardées, et le mouvement différentiel se met en marche et entraîne les aiguilles du compteur qui indiquent un nombre proportionnel à la quantité d'électricité ou à l'énergie transportées par le courant, suivant que la partie inférieure du pendule P' porte un aimant permanent ou un solénoïde.

Il est évident que dans les compteurs de ce genre la marche des aiguilles se renverse en même temps que celui du courant principal, les forces électromagnétiques s'exerçant sur le pendule P' étant attractives ou répulsives suivant le sens de ce courant et, par conséquent, produisant une accélération ou un ralentissement des oscillations du pendule ; par suite un tel compteur n'enregistre que la somme algébrique de la quantité d'électricité ou de l'énergie transportées par un courant de sens variable. Or, dans certains cas, il importe de pouvoir évaluer séparément ces quantités pour chaque sens du courant ; le nouveau modèle satisfait à ces conditions.

La figure 1 représente un compteur d'énergie de ce modèle, spécialement destiné à la mesure de l'énergie dépensée pour la charge des accumulateurs et de l'énergie produite par leur décharge. A gauche, se trouve le pendule type P ; à droite, le pendule P' dont la durée d'oscillation est altérée par le courant de charge et de décharge. Ce dernier porte à sa partie inférieure une bobine à fil fin dont les extrémités sont reliées aux bornes de la dynamos pendant la charge des accumulateurs et aux bornes de ceux-ci pendant la décharge ; au dessous se trouve un solénoïde à gros fil parcouru par le courant principal. La force perturbatrice des oscilla-

tions de ce pendule dépend, dans ces conditions, du voltage aux bornes de la dynamo ou des accumulateurs et de l'intensité du courant fourni par celle-là ou ceux-ci ; elle est, en outre, proportionnelle au produit de ces deux quantités, c'est à dire proportionnelle

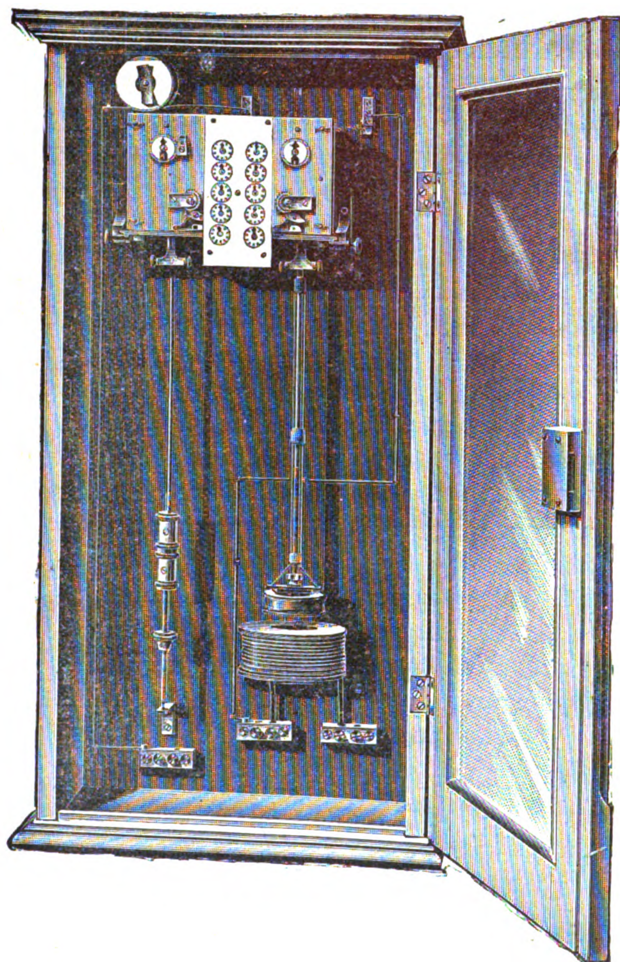


Fig. 1. — Nouveau compteur électrique Aron.

au nombre de watts transportés par le courant de charge ou de décharge. Par conséquent, si l'on désigne par t' la durée d'oscillation du pendule P' quand un courant de W watts traverse l'appareil, on aura dans le cas d'oscillations infiniment petites,

$$t' = \pi \sqrt{\frac{I}{(P + kW)a}},$$

I étant le moment d'inertie du pendule, P son poids, a la distance de son centre de gravité à l'axe de suspension et k un coefficient de proportionalité, positif ou négatif suivant le sens du courant.

Quant à la durée d'oscillation du pendule type P elle s'obtient en faisant $W = 0$ dans l'expression précédente puisque par construction et par réglage les pendules P et P' sont synchrones quand il ne passe pas de courant dans l'appareil ; par suite, cette durée d'oscillation sera

$$t = \pi \sqrt{\frac{I}{Pa}}.$$

Les différents rouages des deux mouvements d'horlogerie réglés par ces pendules tourneront avec des vitesses inversement proportionnelles aux durées d'oscillation. Par conséquent, si les deux mouvements d'horlogerie sont identiques, les roues extrêmes tourneront avec des vitesses pouvant être respectivement représentées par

$$v = \alpha \sqrt{P}, \qquad \text{et} \qquad v' = \alpha \sqrt{P + kW}.$$

Ces roues extrêmes, représentées en A et A' dans la figure 2, entraînent les roues B et B' montées follement sur l'axe EF et, au moyen des roues d'angle C et C', font mouvoir la roue satellite D portée par un bras équilibré par un contrepoids et claveté sur l'axe EF. Cet axe tourne donc avec une vitesse proportionnelle à la différence des vitesses des roues A et A' et exprimée par

$$\beta (\sqrt{P + kW} - \sqrt{P}),$$

ou

$$\beta \frac{P + kW - P}{\sqrt{P + kW} + \sqrt{P}},$$

ou encore, approximativement

$$\frac{\beta k}{2\sqrt{P}} W,$$

la force perturbatrice kW étant toujours assez petite pour pouvoir être négligée devant le poids P du pendule.

On voit donc que, comme nous le disions plus haut, la vitesse de rotation de l'axe du mouvement différentiel est proportionnelle au nombre de watts qui représente l'énergie

du courant traversant l'appareil et que le sens de cette vitesse change en même temps que le signe de k c'est à dire avec le sens du courant.

Pour enregistrer séparément le nombre de tours de l'axe du mouvement différentiel dans un sens et dans le sens opposé, cet axe EF porte un bras G muni de deux cliquets K et K' (fig. 2 et 3) équilibrés par un contrepoids et enclanchant respectivement deux roues H et H', montées follement sur l'axe EF et solidaires des roues M et M'. Chacune de ces der-

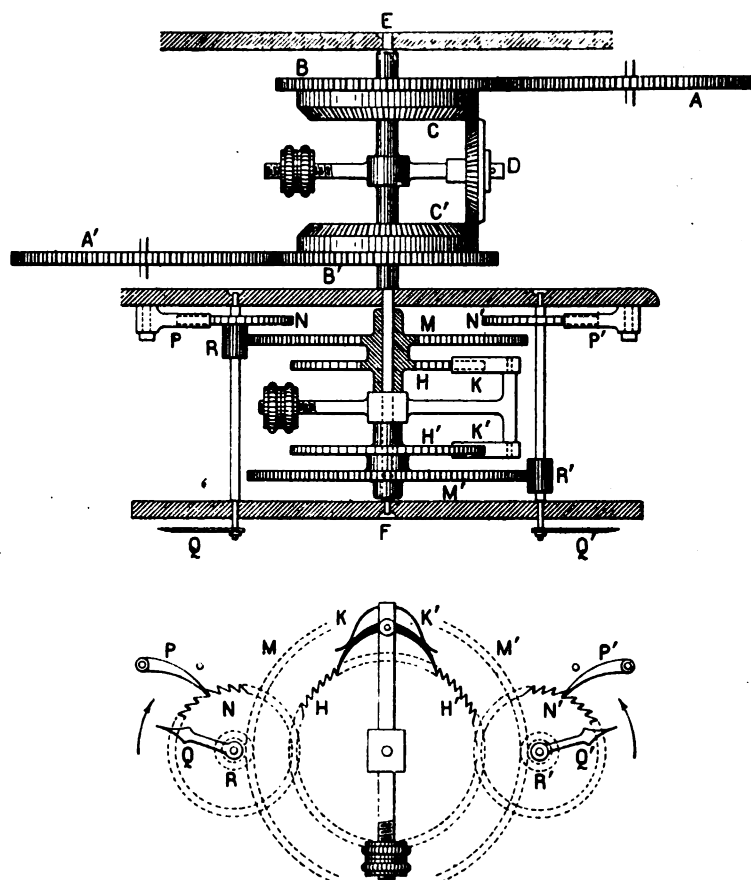


Fig. 2 et 3 — Détails de l'enregistreur électrique Aron.

nières actionne un pignon R ou R' dont l'axe porte, à l'une de ses extrémités une roue N ou N' enclanchée par un rochet P ou P' et, à l'autre extrémité, une aiguille Q ou Q'. Chacun de ces axes fait également mouvoir les axes d'aiguilles enregistrant les dizaines, centaines, etc., de tours des aiguilles Q et Q' de manière à constituer deux compteurs.

Pour un certain sens du courant, celui du courant de charge d'une batterie d'accumulateurs par exemple, l'axe E F tournera dans le sens des aiguilles d'une montre. Le cliquet K' fera alors tourner les roues H' et M', le pignon R' et l'aiguille Q' tandis que K glissera sur les dents de la roue H maintenue en repos, en même temps que le pignon R de la roue N, par le rochet P. Pour un courant de sens inverse la rotation de l'arbre EF changera de sens et l'aiguille et Q tournera, l'aiguille Q' restant en repos. L'énergie du courant de charge et du courant de décharge se trouvent donc enregistrées séparément.

Il y a nécessairement dans cet enregistrement une légère erreur due au jeu que l'on doit laisser aux rouages pour leur fonctionnement ; mais cette erreur peut être rendue

très petite en prenant des roues A et A', B' et B' à dentures très fines et, en fait, elle est négligeable en pratique.

Les deux compteurs, que l'on aperçoit sur la figure 1, indiquent généralement l'énergie des courants en watts-heures et multiples décimaux. On obtient ce résultat en donnant aux bobines de l'appareil des résistances convenables et on parfait le réglage en faisant varier l'intensité du courant passant dans la bobine à fil fin du pendule P' par une modification convenable d'une résistance placée en série avec cette bobine.

Dans ces conditions, l'appareil permet d'obtenir très facilement le rendement en énergie d'une batterie d'accumulateurs, que la charge ou la décharge s'effectue en une ou plusieurs fois ; il suffit, pour cela, de faire le rapport des watts-heures enregistrés par les deux compteurs.

On peut ainsi, en faisant de temps en temps les deux lectures, s'assurer si le rendement d'une batterie se maintient constant. Mais lorsqu'on n'a en vue que la vérification de cette constance du rendement, il suffit de munir l'appareil d'un dispositif très simple, pour pouvoir effectuer cette vérification à chaque instant et sans aucun calcul.

Ce dispositif consiste en un relai polarisé, actionné par le courant principal et qui, suivant le sens de ce courant, introduit ou retire du circuit de la bobine mobile une résistance auxiliaire. La suppression de cette résistance augmente l'intensité du courant dans la bobine mobile et par suite l'intensité de la force attractive ou répulsive qui modifie la durée d'oscillation du pendule P'. En appelant γ le rapport de cette résistance à celle du circuit total de la bobine mobile, on voit facilement que l'intensité de cette force se trouve augmentée dans le rapport de k à $\frac{k}{1-\gamma}$; par conséquent, la vitesse de l'axe du mouvement différentiel du compteur se trouve accélérée dans le rapport de 1 à $\frac{1}{1-\gamma}$ et les indications du compteur doivent être multipliées par $1-\gamma$ pour donner la valeur exacte de l'énergie du courant qui le traverse. Si donc le relai est disposé de manière à introduire la résistance auxiliaire pendant la charge des accumulateurs et à la retirer pendant la décharge, le rendement sera donné par

$$\rho = \frac{D(1-\gamma)}{C},$$

D et C désignant les nombres indiqués par les compteurs pendant la décharge et la charge. Il en résulte qu'en choisissant cette résistance de manière que l'on ait

$$1-\gamma=\rho,$$

les nombres indiqués par les compteurs seront toujours égaux entre eux si le rendement demeure constant. Ainsi, en supposant qu'une batterie ait un rendement de 75 pour 100 en énergie, il faudra que le circuit de la bobine mobile renferme une résistance égale aux 25 centièmes de la résistance totale de ce circuit et il suffira de retirer cette résistance du circuit pendant la décharge pour que les indications des deux files de cadrans restent les mêmes, ces indications donnant l'énergie dépensée pendant la charge, le réglage de l'appareil étant fait avec la bobine auxiliaire dans le circuit.

Le nouveau compteur Aron peut donc rendre des services dans les installations d'accumulateurs, installations qui se multiplient de plus en plus à mesure que progresse la fabrication de ces appareils. J. Reyval.

SUR UNE NOUVELLE ESPÈCE DE RAYONS [1]

(*Suite*)

Je suis contraint d'interrompre mes recherches pendant plusieurs semaines ; voici

[1] Ce mémoire est la suite immédiate de la première communication de M. Roentgen, que nous avons publiée dans notre numéro du 8 février (p. 241), comme l'indique le numérotage des paragraphes ; il a présenté, comme le premier, à la Société Physico-médicale de Würzburg ; l'exemplaire que nous avons eu entre les mains et qui n'est arrivé en France que depuis quelques jours, indique que la rédaction était terminée le 9 mars. — Toutes les notes qu'on trouve plus loin ont été ajoutées par le traducteur.

quelques résultats nouveaux que je me permets de publier dès maintenant.

18. Je connaissais au moment de ma première publication, la propriété que possèdent les rayons X de décharger les corps électrisés ; je pensais que c'est aux rayons X et non aux rayons cathodiques qui traversent la fenêtre d'aluminium du tube de Lénard sans subir d'altération qu'il faut attribuer l'action qu'a observée ce savant sur les corps électrisés éloignés. J'ai attendu, pour publier mes recherches, de pouvoir communiquer des résultats qui ne prêtassent à aucune objection.

On n'obtient ces résultats qu'en opérant dans un espace protégé absolument non seulement contre le champ électrostatique émanant du tube à vide, des fils conducteurs ou de la bobine d'induction mais aussi contre l'air qui provient du voisinage du tube à décharge.

Pour satisfaire à ces conditions, j'ai fait construire avec des lames de zinc soudées entre elles une chambre assez grande pour que je pusse m'y tenir avec mes appareils ; elle était hermétiquement close, sauf une ouverture fermée par une porte de zinc. La paroi opposée à la porte est doublée de plomb sur une grande partie de sa surface ; en un point voisin du lieu où se trouve, à l'extérieur, la bobine d'induction, la paroi de zinc a été enlevée sur une longueur de 4 cm, avec la lame de plomb qui la recouvre et l'ouverture a été refermée hermétiquement par une lame d'aluminium mince. Les rayons X peuvent pénétrer par cette fenêtre à l'intérieur de la chambre d'observation.

Voici maintenant ce que j'ai constaté :

a) Des corps électrisés, positifs ou négatifs conservés dans l'air, se déchargent quand on les expose aux rayons X et cela d'autant plus rapidement que les rayons sont plus intenses. On évaluait l'intensité des rayons d'après leur action sur un écran fluorescent ou sur une plaque photographique.

En général, il est indifférent que les corps électrisés soient isolants ou conducteurs. Jusqu'ici, je n'ai d'ailleurs observé aucune différence spécifique entre les façons dont se comportent les différents corps au point de vue de la rapidité de la décharge ; le signe de l'électricité ne semble pas avoir d'influence. Toutefois, il n'est pas certain que de petites différences n'existent pas.

b) Quand un conducteur électrisé est plongé non plus dans l'air, mais dans un isolant solide, par exemple la paraffine, l'action des rayons est la même que celle d'une flamme mise à la terre qui lècherait la couche isolante.

c) Si l'on recouvre la couche isolante d'un conducteur qui l'entoure étroitement et qui soit mis à la terre, les rayons X n'exercent aucune action que j'aie pu déceler avec les moyens dont je disposais, même quand le second conducteur et l'isolant sont pris sous des épaisseurs assez faibles pour être transparents aux rayons X (¹).

d) Les observations rapportées ci-dessus en *a*, *b*, *c* prouvent que l'air qui a été exposé aux rayons Roentgen a acquis la propriété de décharger les corps avec lesquels il vient en contact.

e) S'il en est bien ainsi et si, en outre, l'air conserve encore cette propriété quelque temps après son exposition aux rayons X, il doit être possible de décharger les corps électrisés qui n'ont pas été eux-mêmes atteints par les rayons, en amenant sur eux l'air qui a reçu le rayonnement.

On peut, de plusieurs façons, se convaincre que cette conséquence se vérifie. J'indiquerai une manière, qui n'est pas la plus simple, de disposer l'expérience. Je me servais d'un tube de laiton de 3 cm de diamètre et de 45 cm de long ; à quelques centimètres d'une des extrémités on avait enlevé une portion de la paroi qu'on avait remplacée par une lame d'aluminium mince ; à l'autre extrémité, qui est fermée hermétiquement, est fixée une sphère de laiton portée par une tige métallique isolée des parois du tube. Entre

(¹) Cette expérience, est à notre connaissance, absolument nouvelle ; elle semble légitimer complètement la conclusion relative au rôle de l'air dans la décharge contenue dans l'alinéa suivant.

la sphère et l'extrémité fermée du tube est soudé un petit tube latéral relié à un aspirateur ; quand on aspire, la sphère de laiton se trouve baignée dans un courant d'air, qui, en suivant le tube, a passé devant la fenêtre d'aluminium. La distance de la fenêtre à la sphère est d'environ 20 cm.

Ce tube était disposé dans la chambre de zinc, de telle façon que les rayons X puissent pénétrer à travers la fenêtre d'aluminium, normalement à l'axe du tube ; la sphère isolée était en dehors de la région traversée, dans l'ombre. Le tube et la chambre de zinc étaient en communication conductrice; la sphère était reliée à un électroscope de Hankel.

On constate qu'une charge positive ou négative, communiquée à la sphère n'est pas modifiée par les rayons X tant que l'air du tube reste en repos, mais que la charge commence à diminuer rapidement dès qu'une aspiration énergique amène sur la sphère l'air exposé aux rayons. En mettant la sphère en relation avec des accumulateurs, de façon à maintenir son potentiel constant, et en aspirant constamment par le tube l'air exposé au rayonnement, on voit se produire un courant électrique, comme si la sphère était mise en relation avec la paroi du tube par un corps mauvais conducteur [1].

f) Une question se pose : comment l'air peut-il perdre la propriété que lui ont communiquée les rayons X ? La perd-il avec le temps, de lui-même, c'est à dire sans venir au contact d'autres corps ? La réponse est encore douteuse. Par contre, il est certain qu'un contact de courte durée avec un corps de grande surface, rend l'air inactif ; il n'est pas nécessaire que le corps soit électrisé. Par exemple, si l'on introduit dans le tube un tampon d'ouate suffisamment épais, à une profondeur telle que l'air exposé aux rayons doive le traverser avant d'atteindre la sphère électrisée, la charge de la sphère reste invariable pendant l'aspiration.

Si le tampon est en deçà de la fenêtre d'aluminium, le résultat est le même que s'il n'existait pas ; preuve que ce ne sont pas les poussières qui occasionnent la décharge observée.

Des toiles métalliques agissent comme la ouate ; mais la toile doit être très fine et il faut disposer l'une sur l'autre plusieurs toiles pour que l'air qui les a traversées devienne inactif. En reliant ces toiles non plus comme nous l'avons supposé jusqu'ici, à la terre, mais à une source d'électricité de potentiel constant, l'expérience a toujours confirmé mes prévisions ; mais ces recherches ne sont pas encore achevées [1].

g) Quand on place les corps électrisés non plus dans l'air, mais dans l'hydrogène sec, les rayons X les déchargent également. La décharge dans l'hydrogène m'a paru être un peu plus lente ; toutefois le fait reste encore incertain à cause de la difficulté qu'il y a à obtenir des rayons de même intensité dans deux expériences successives.

La façon dont on a rempli l'appareil d'hydrogène permettait d'affirmer que la couche d'air condensée primitivement à la surface des corps n'avait pas joué un rôle essentiel dans la décharge.

h) Dans un vide poussé assez loin, la décharge d'un corps directement atteint par les rayons X se produit beaucoup plus lentement — dans un cas soixante-dix fois plus lentement — que dans la même enceinte remplie d'air ou d'hydrogène à la pression atmosphérique [2].

i) Des expériences sur l'action des rayons X sur un mélange de chlore et d'hydrogène sont en cours d'exécution.

j) Enfin, je voudrais indiquer que les résultats d'expériences sur la décharge par les rayons X, dans lesquelles on n'a pas tenu

[1] M. J. J. Thomson a déjà décrit une expérience analogue.

[1] M. Roentgen ne dit malheureusement pas encore quelles étaient ses prévisions.

[2] MM. Hurmuzescu et Benoît ont démontré que la vitesse de déperdition est proportionnelle à la racine carrée de la pression de l'air, au moins jusqu'à des pressions supérieures à 6 mm. Dans l'hydrogène, la vitesse serait, à même pression, beaucoup moins rapide que dans l'air (*Comptes rendus* du 27 avril).

compte de l'influence du gaz environnant, ne doivent être admis qu'avec circonspection.

19. — Dans bien des cas il est avantageux d'intercaler entre l'appareil à décharges producteur de rayons X et la bobine de Ruhmkorff un appareil Tesla (condensateur et transformateur). Cette disposition présente les avantages suivants : d'abord les tubes à décharge risquent moins de se percer et s'échauffent moins ; ensuite le vide, au moins dans les appareils que j'ai préparés moi-même, se conservait plus longtemps et enfin, beaucoup d'appareils donnent des rayons X plus intenses. Avec des appareils dans lesquels le vide n'est pas suffisant ou est trop fort pour qu'ils puissent fonctionner avec la bobine de de Ruhmkorff seule, le transformateur de Tesla peut être employé avec succès.

Une question qui se pose immédiatement— et je me permets de la soulever sans pouvoir, pour le moment, contribuer à y répondre — est de savoir si une décharge continue à potentiel constant peut donner naissance à des rayons X ou si au contraire les oscillations du potentiel sont absolument nécessaires à leur production.

20. — Dans le § 13 de ma première publication, j'ai indiqué que les rayons X peuvent prendre naissance non seulement sur le verre, mais encore sur l'aluminium. En poursuivant mes recherches dans cette voie, je n'ai trouvé aucun corps solide qui, exposé aux rayons cathodiques, ne pût donner naissance aux rayons X (¹). Je n'ai rencontré non plus aucun fait qui pût me faire croire que les liquides et les gaz ne se comportent pas de la même façon.

Par contre j'ai observé des différences dans le rendement en quantité des divers corps. Par exemple, si on fait tomber les rayons cathodiques sur une plaque dont une moitié est constituée par une lame de platine de 0,3 mm d'épaisseur et l'autre moitié par une lame d'aluminium de 1 mm d'épaisseur, on observe, en prenant une image photographique de cette plaque à la chambre obscure, que la lame de platine envoie par sa face antérieure, exposée aux rayons cathodiques, beaucoup plus de rayons X que la lame d'aluminium du même côté. Sur l'autre face, au contraire, les rayons X n'ont, sur le platine, qu'une intensité pour ainsi dire nulle, tandis qu'il en part beaucoup de l'aluminium. Ces derniers rayons ont pris naissance dans les couches antérieures de la couche d'aluminium et l'ont ensuite traversée (¹).

On peut s'expliquer facilement ces résultats, mais il serait bon de continuer d'abord l'étude des propriétés des rayons X.

Il faut observer que les faits précédents ont une importance pratique. D'après les essais que j'ai effectués jusqu'ici, le platine est le corps qui produit les rayons X les plus intenses. Je me sers depuis plusieurs semaines avec grand avantage d'un tube à décharges dans lequel la cathode est un miroir concave et l'anode une lame de platine fixée au centre de courbure du miroir et incliné de 45° sur son axe.

21 — Les rayons X, dans ce tube, partent de l'anode. D'expériences faites sur des tubes de formes diverses, je puis conclure qu'il est indifférent au point de vue de l'intensité des rayons X que le corps sur lequel ils prennent naissance soit ou ne soit pas l'anode.

En vue d'exécuter des expériences spéciales avec les courants alternatifs du transformateur de Tesla, je fais construire actuellement une ampoule dont les deux électrodes sont des miroirs d'aluminium concaves ayant leurs axes à angle droit ; par le centre de courbure commun passe une lame de platine qui reçoit les rayons cathodiques. On rendra compte dans la suite de la façon dont l'appareil s'est comporté.

W.C. Roentgen.

(¹) Cette conclusion est d'accord avec le résultat des expériences de M. Perrin (*Comptes rendus* t. CXXII, p. 716 ; 23 mars — *L'Éclarage Électrique*, t. VII, p, 177; 25 avril).

(¹) MM. Chabaud et Hurmuzescu ont récemment décrit un tube à foyer dans lequel la source est constituée par une lame d'aluminium, normale aux rayons cathodiques, les rayons X utilisés se propageant du côté opposé à la cathode (*Comptes rendus* du 3 mai).

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Pare-étincelles Potter pour hautes tensions (1895).

La ligne N est reliée, par H, à un inducteur I tout en cuivre (fig. 2) et à la première d'une

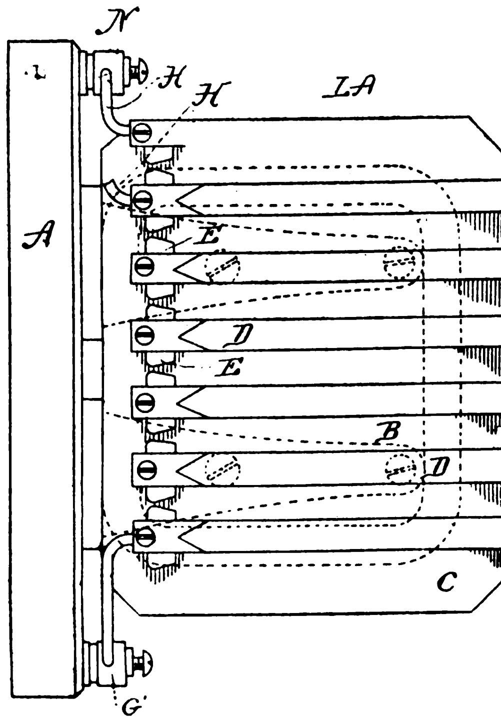
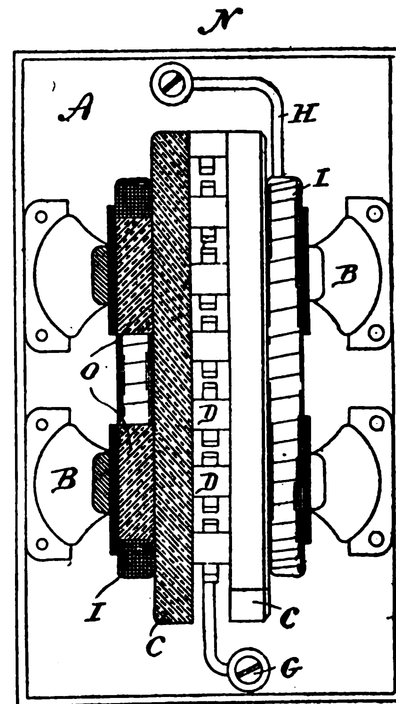


Fig. 1. — Pare-étincelles *Potter*.

série de touches E (fig. 1 et 4), dont la seconde est reliée, par H', à un second inducteur disposé parallèlement au premier le long des touches. La dernière de ces touches aboutit en G'. Ces touches sont posées sur des ardoises C C, supportées en B B par un socle A, avec séparations D D, qui confinent l'arc dans un petit espace où il est vivement soufflé par les enroulements I I, supportés en O O.

Entre chaque pare-étincelles LA LA (fig. 3) et les machines à protéger, on dispose des



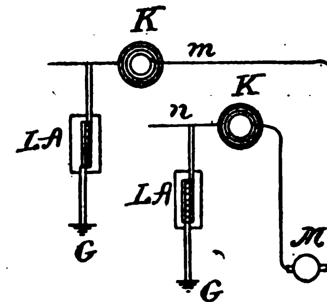


Fig. 2 et 3. — Pare-étincelles *Potter*, détail d'un conducteur et ensemble d une installation.

inductances K K, reliées en G G à la terre, puis aux lignes *m* et *n*. Ces inductances, de préférence sans fer, empêchent le courant de décharge d'arriver jusqu'à la machine et le renvoient à la terre par le pare-étincelles.

On arrive ainsi à arrêter facilement des décharges de 10 000 volts. L'absence de fer dans

les enroulements I, supprimant l'hystérésis,

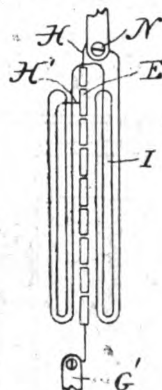


Fig. 4. — Pare-étincelles *Potter*, schéma des circuits.

en uniformise le champ, qui agit alors également sur tous les arcs. G. R.

Transformateurs Ferranti (1895).

Ces transformateurs sont disposés de façon que l'on puisse facilement enlever leurs

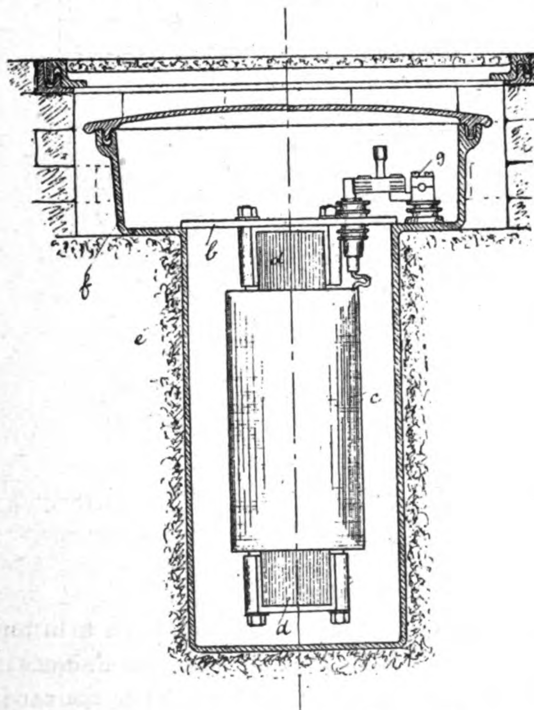


Fig. 1. — Transformateur *Ferranti*.

noyaux pour les recuire afin de leur restituer leurs qualités magnétiques Le transformateur est accroché à une plaque *b* (fig. 1); les enroulements *c*, entièrement supportés par cette plaque, dans un châssis isolé, ne sont pas

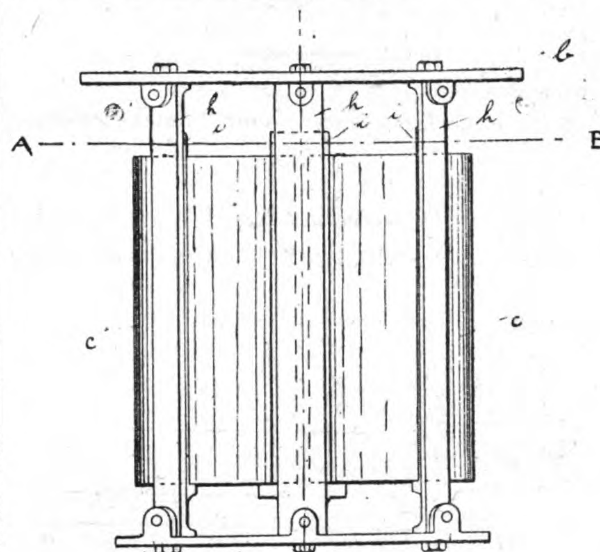


Fig. 2 et 3. — Transformateur *Ferranti*, partie mobile, élévation et plan A B.

fixés aux noyaux *a d*, en fer lamellaire. Le tout est logé dans une boîte *e f*, chargée de manière à pouvoir loger les bornes *g* et enterrée sous la chaussée.

G. R.

Ponts différentiels Siemens et Halske (1895).

Ce système a pour objet la mesure directe de résistances contenant des forces électromotrices.

Soient, dans un pont de Wheatstone I et I_1 i et i_1 les intensités successives du courant

dans les diagonales D et d (fig. 1); on a l'expression :

$$\frac{i - i_1}{I - I_1} = \frac{r_2 r_4 - r_1 r_3}{r(r_1 + r_2 + r_3 + r_4) + (r_1 + r_4)(r_2 + r_3)},$$

$r_1\ r_2$ étant les résistances des bras 1, 2, 3, 4, indépendantes de la résistance ou de la force électromotrice variables de D et de d. S'il n'y a pas d'autre force électromotrice que celle de D, et si l'on se contente d'ouvrir et de fermer D, on a $I_1 = 0$, $i_1 = 0$, d'où

$$\frac{i}{I} = \frac{r_1 r_4 - r_1 r_2}{r(r_1 + r_2 + r_3 + r_4) + (r_1 r_4)(r_2 + r_3)}.$$

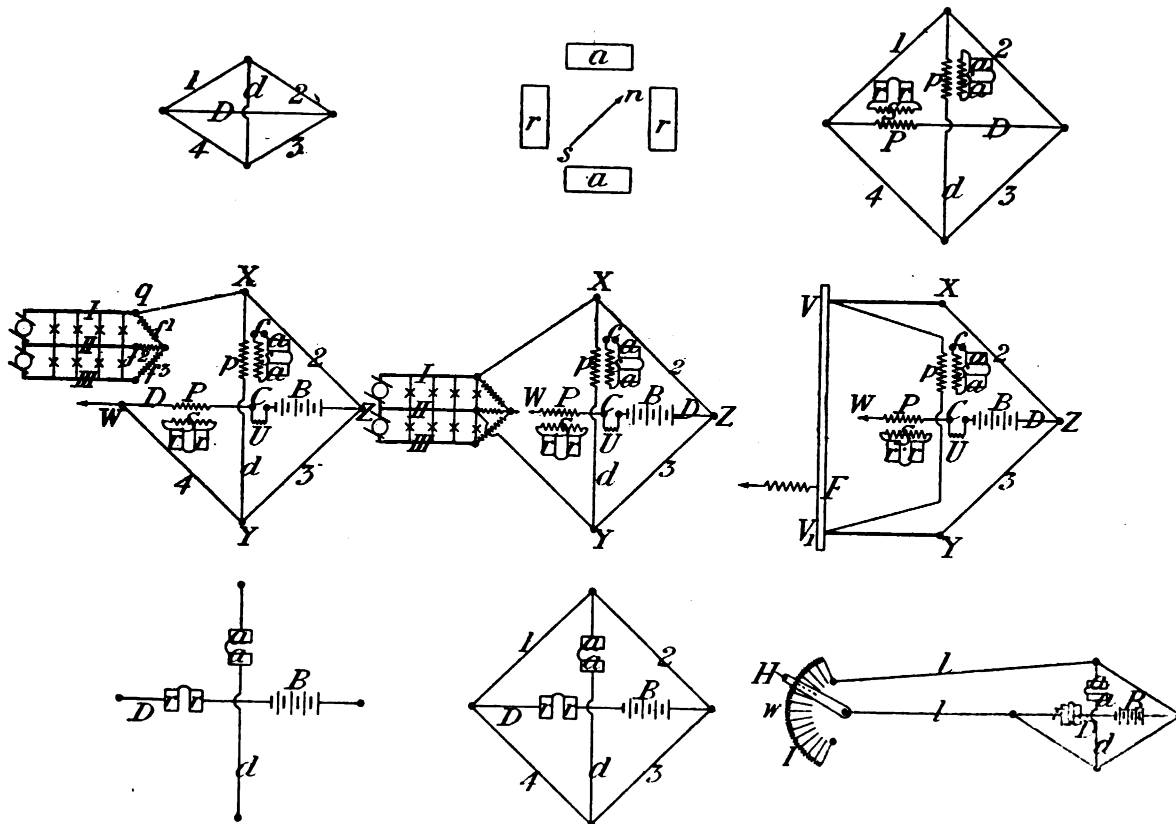


Fig 1 à 9.

On peut, pour évaluer ces rapports, employer un galvanomètre ou un électrodynamomètre à enroulements $r\ r$ et $a\ a$ (fig. 2) parcourus par des courants proportionnels respectivement à $I - I_1$ et $i - i_1$, de sorte que la déviation de l'aiguille $s\,n$ ou de l'enroulement suspendu et relié en série ou en parallèle à $r\ r$ ou $a\ a$, est proportionnelle à

$$\frac{i - i_1}{I - I_1}.$$

Si l'on prend pour inconnue la résistance r_1, les autres $r_2\ r_3$... étant constantes, on peut graduer l'appareil directement en fonction de r_1.

On peut pour exciter ainsi les enroulements $a\,a$ et $r\,r$ les relier (fig. 3) aux secondaires S et s d'un tranformateur dont les primaires P et p sont intercalés en D et d, de sorte que si les courants passent simultanément de I à I_1 en D et de i à i_1 en d, ceux induits en S et en s, en $r\ r$ et en $a\ a$ seront proportionnels à $I - I_1$ et $i - i_1$.

S'il existe des forces électromotrices dans les bras $r_1\ r_2$... outre celles de D, on y intercalera un trembleur C (fig. 4) avec résistance U

et le rapport $\frac{r-i_1}{I-I_1}$ continuera à être indiqué par le galvanomètre pourvu que les phases soient synchrones en *a a* et *r r*.

Dans le cas où certains des bras sont parcourus par des courants alternatifs, on emploie, pour en mesurer les résistances, le même dispositif que s'il n'y avait pas de forces électromotrices en jeu, avec *r r* et la pile B intercalés en D.

Pour mesurer ainsi la résistance ou l'isolement total d'une installation à trois fils I, II, III (fig. 4) en marche avec des courants continus, et sans interrompre cette marche, on relie X à I et W à la terre ; la perte totale mesurée par la résistance de toutes les fuites entre les conducteurs et la terre, indiquées symboliquement par f_1 f_2 f_3, constitue le bas I du pont. Les interrupteurs *c* et C des transformateurs P S et *p s*, en D et en *d*, sont synchrones de manière qu'il ne passe en *a a* et *r r* que des courants de même direction, et que l'aiguille du galvanomètre, convenablement gradué, donne directement la résistance I cherchée.

Pour mesurer la résistance d'un quelconque des fils I, II et III on relie (fig. 5) D à la terre par *w*, X à I et Y à II, puis à I et à III et à III et à I ; les indications du galvanomètre correspondant à ces connexions successives, jointes à la connaissance de l'isolement total permettent de calculer celui des fils I, II et III.

La disposition figure 6 permet de localiser les fuites sur une installation à courants continus. D reste à la terre W. On relie X et Y aux extrémités V et V_1 de la section, dont on cherche la fuite F; la déviation du galvanomètre donne le rapport $\frac{V F}{V_1 F}$.

Pour les réseaux à courants alternatifs l'appareil se simplifie (fig. 7) par la suppression des transformateurs; quand il n'existe pas de force électromotrice dans les conducteurs latéraux, le galvanomètre donne directement la résistance de ce conducteur, I par exemple en figure 8.

Le dispositif figure 9 permet de repérer à distance la position de l'aiguille H d'un rhéostat I relié au pont en W et X par *ll*.

G. R.

Les paliers Hyatt à rouleaux flexibles.

Ces paliers sont employés sur les nouvelles voitures des tramways électriques de Paris à Saint-Denis, où ils donneraient d'excellents résultats, puis qu'ils auraient permis, d'après M. Sarcia, de réduire le coefficient de résistance au roulement, sur rail à ornière, à 11,25 kg par tonne ; ce coefficient étant calculé d'après la dépense de courant à l'aller et au retour sur une rampe comprend les pertes électriques et mécaniques des moteurs, les

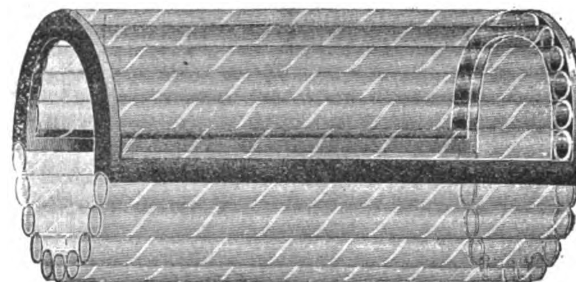


Fig. 1.

pertes dans les engrenages, les frottements aux paliers, le roulement des roues sur les rails, etc., en un mot toutes les résistances passives de la voiture. C'est donc un chiffre excessivement bas.

Si ces chiffres sont confirmés en pratique courante, si l'usure des paliers n'est pas trop rapide et si leur fonctionnement est régulier l'intéret qu'il y aurait à adopter des dispositifs de ce genre est évident.

Ce qui caractérise les paliers Hyatt, c'est qu'ils sont flexibles. La difficulté commune à tous les paliers à rouleaux rigides, c'est la tendance de ceux-ci à ne pas se maintenir en ligne avec l'axe de l'essieu. Ceci tend non seulement à empêcher leur roulement libre, mais encore à localiser les efforts sur une très petite surface des rouleaux, ce qui provoque une usure très rapide. En outre, les rouleaux rigides sont très coûteux, car ils doivent être

d'abord trempés dur avant d'être finis au tour.

La flexibilité des rouleaux élimine ces inconvénients.

Dans le palier Hyatt, une feuille d'acier doux de faible épaisseur est enroulée en spirale autour d'un mandrin, comme le montrent les figures 1 et 2 empruntées à *Electric Railway Gazette*. Ces feuilles sont enroulés à froid, ce qui, exigeant un acier d'excellente

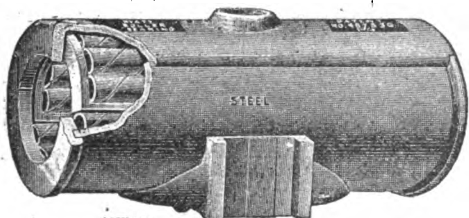


Fig. 2.

qualité, est une garantie de solidité. La forme en spirale permet au rouleau de céder ; parconséquent, si il est soumis à une pression, il touchera l'arbre principal ou essieu en de nombreux points, même si les deux pièces ne sont pas dans un parallélisme parfait. Le rouleau est creux et par conséquent prête sous la pression en sorte que celle-ci est distribuée automatiquement sur plusieurs rouleaux au lieu d'être concentrée sur un faible nombre d'entre eux. Les rouleaux sont placés autour de la fusée et l'enveloppe en fonte de fer qui les contient est armée intérieurement d'acier. Un manchon en acier dur protège l'axe. La tendance des rouleaux à ne pas conserver le parallélisme est limitée par un cadre en bronze consistant de deux pièces parallèles aux rouleaux, réunies par des demicercles aux extrémités, (fig. 1). G. P.

Sur la possibilité d'appliquer les courants alternatifs aux tramways électriques, par Edw. J. Houston et A. E. Kennelly (¹).

On peut ranger les systèmes de traction électrique en deux grandes classes différentes :

I. — Les tramways ordinaires, circulant sur les routes à des vitesses modérées et alimentés par trôlets, soit souterrains, soit aériens.

II. — Les chemins de fer, caractérisés par leur grande vitesse et les grandes distances qu'ils ont à parcourir ; on peut ranger dans cette classe certains tramways interurbains.

Il semble qu'on ne pourrait gagner aucun avantage à l'emploi des courants alternatifs dans l'industrie des tramways, sauf l'élimination complète de tout danger pratique par actions électrolytiques ; l'attaque électrolytique des tuyaux enterrés peut, cependant, être si complètement évitée dans les systèmes à courant continu actuellement en usage, qu'il est inutile d'employer les courants alternatifs pour cette raison. De plus, toutes autres choses égales, le choc reçu d'un circuit à courants alternatifs est beaucoup plus dangereux aux fréquences ordinaires, que le choc reçu d'un conducteur parcouru par un courant continu de tension égale ; enfin, les moteurs polyphasés exigent l'emploi d'au moins deux conducteurs aériens et de deux trôlets. L'introduction du courant alternatif dans les réseaux de tramways électriques entraînerait donc des dangers plus grands pour les personnes et nécessiterait l'emploi du double trôlet.

Dans l'industrie des chemins de fer, les conditions sont d'ordinaire différentes : la tension doit être augmentée afin de diminuer le prix des conducteurs. De plus, sur des lignes privées, il y a moins d'inconvénient à adopter un double trôlet.

Quand la tension est élevée, on sait qu'il existe de grandes difficultés pour limiter l'intensité du courant qui passe dans les moteurs au moment du démarrage ; il faut employer, dans ce but, des rhéostats ou « déperditeurs de courant », *(current diverters)*, de dimensions encombrantes. Avec les courants alternatifs et les moteurs polyphasés, on atteint facilement ce résultat au moyen de bobines de réactance dont les noyaux peuvent être plus ou moins insérés ; par conséquent, l'emploi des hautes tensions est beaucoup plus commode avec les courants alternatifs. Les moteurs aussi sont très simplifiés, puisqu'ils n'exigent pas de collecteur et que tous

(¹) *Electric Railway Gazette*, 21 mars 1896, p. 192.

les organes sont réduits à leur plus simple condition.

Il semble donc que les courants alternatifs aient un avenir considérable dans l'industrie des chemins de fer, mais qu'ils ne possèdent aucun avantage pour l'exploitation des tramways. G. P.

Moteur cuirassé Sayers (1).

Les figures 1, 2 et 3 représentent un nouveau type de moteur cuirassé construit par MM. Mavor et Coulson sous les brevets Sayers. L'enveloppe ou cuirasse est en acier pur carburé de haute perméabilité magnétique et forme la culasse d'un électroaimant à deux

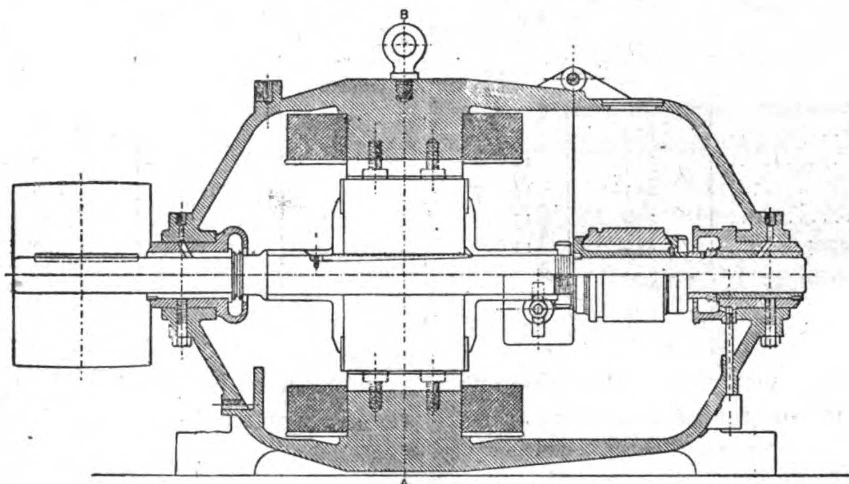
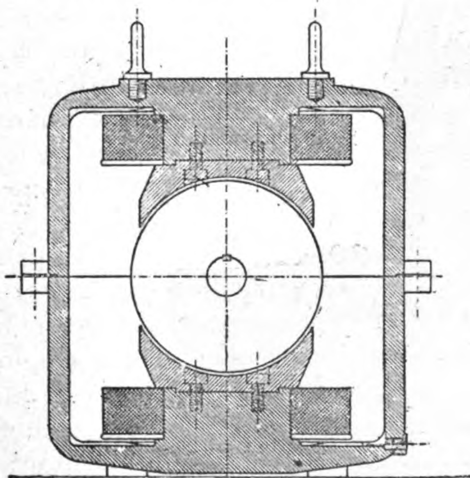


Fig. 1. — Moteur cuirassé *Sayers*. Coupe longitudinale.

pôles intérieurs. La protection mécanique que cette cuirasse assure à la machine est ainsi


Fig. 2. — Moteur cuirassé Sayers. Coupe suivant A B.

combinée avec l'avantage de supprimer tout champ extérieur, et pour cette raison ces machines conviennent principalement aux installations sur les navires, leur action sur la boussole étant imperceptible, même à petite distance.

Voici un certain nombre de données d'expériences faites sur ces machines.

Mesure du rendement. — Moteur de 30 × 19 cm actionnant une génératrice par courroie.

MOYENNES DE TROIS MESURES

Moteur			Génératrice		
Vitesse	Volts	Courant	Vitesse	Volts	Courant
775	122	104	885	100,8	100,4

Puissance absorbée par le moteur.

$$122 \times 104 = 12\,600 \text{ watts.}$$

Puissance fournie par la génératrice

$$100{,}8 \times 100{,}4 = 10\,170 \text{ watts.}$$

$\frac{10\,170}{12\,630} = 80$ pour 100, rendement de la double transformation.

Le moteur fonctionnant pendant plusieurs heures comme génératrice à la vitesse moyenne de 780 tours environ et en débitant 90 ampères sous 110 volts s'échauffait de 30° C dans les inducteurs et de 35° dans l'induit.

A 800 tours par minute, avec un débit de 122 ampères sous 110 volts, c'est à dire une surcharge de 40 pour 100, les élévations de

(1) *The Electrician*, 10 janvier 1896.

température étaient respectivement de 40° et de 50° C.

Avec un débit de 175 ampères sous 100 volts soutenu pendant un quart d'heure, on n'a pas observé la moindre étincelle aux balais, et c'est seulement à 185 ampères que quelques petites étincelles se sont montrées.

En passant brusquement de 120 ampères à 80 ampères sans déplacer les balais, aucune étincelle ne s'est produite, et en descendant brusquement à 40 ampères on en a vu seulement des traces.

Voici quelques données de construction : poids brut de la machine 800 kg ; résistance entre les balais : 0,0435 ohm à 50° ; résistance du shunt à la même température 53 ohms.

Circuit magnétique.

	Section en cm²	$\mathfrak{B}$	Longueur en cm	$\mathcal{H}$ par cm	Total
Entrefer	634	7 770	0,76	7 770	5 900
Noyau d'induit	384	12 800	30	10	300
Dents......................	285	17 200	4,75	100	475
Inducteurs................	398	13 600	24	12	288
Noyaux d'inducteurs.......	425	11 600	90	8	720
					$7\,683 \times \frac{10}{4\pi} = 6\,100$
					$+$ 10 p 100 $=$ 6 700 amp. tours

Une partie de la moitié supérieure de la cuirasse est articulée et peut s'ouvrir comme le montre la figure 3 de façon à permettre l'inspection et la manœuvre des balais. La moitié supérieure étant levée verticalement, on peut sortir l'armature, et après enlèvement d'une

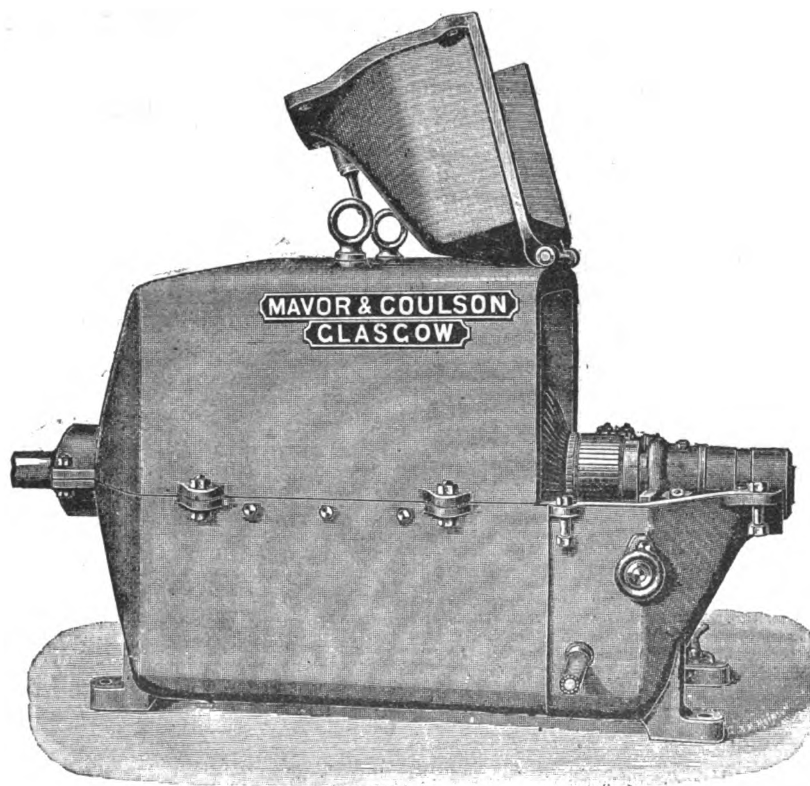


Fig 3. — Moteur cuirassé Sayers. Vue extérieure.

pièce polaire, la bobine de l'inducteur devient amovible.

L'enroulement induit principal ayant deux fils dans chaque rainure du noyau présente une longueur totale de 117 mètres et un poids de 14,7 kg. Il comporte en outre 42 bobines commutatrices Sayers embrassant 7 dents, et dont le fil a une longueur totale de 60 mètres et pèse 3,4 kg.

L'enroulement inducteur en une couche de 3 350 tours répartis entre les deux noyaux pèse au total 48 kg; l'intensité du courant qui le traverse est de 2 ampères.

A. H.

Sur résistance du corps humain, par A. Monmerqué [1]

Expériences faites à l'Usine des Halles (1894) sur la résistance du corps humain au courant continu et au courant alternatif (88 périodes par seconde).

Objet. — Ces expériences ont eu pour objet de comparer les résistances du corps humain aux deux sortes de courant et de vérifier les résultats obtenus en Amérique par MM. Harris et Lawrence.

Instruments et méthodes employés. — Le laboratoire de l'Usine ne disposant pas d'ampèremètre pouvant donner le milliampère et l'emploi du galvanomètre Deprez-d'Arsonval ne s'appliquant pas au courant alternatif, on a disposé l'appareil suivant, analogue à un électrodynamomètre.

Il se compose (fig. 1) de deux bobines de fil de 0,2 mm de diamètre, l'une B fixe, l'autre B' mobile, reliées en tension par un fil C et traversées par le courant à mesurer. La résistance totale des deux bobines est de 20 ohms environ et la self-induction négligeable.

Pour avoir une très grande sensibilité, la bobine B' est suspendue par un fil métallique F très fin et assez long par lequel arrive le courant. Il n'y a pas de ressort permettant de ramener chaque fois au zéro et on observe directement la déviation du cadre au moyen d'un miroir M réfléchissant un rayon lumineux sur une échelle divisée.

L'appareil est complété par un amortisseur constitué par une lame de mica plongeant dans de la valvoline. Malgré cette disposition, le temps pendant lequel se produisent les oscillations, par suite de la longueur considérable du fil, est encore un peu grand.

L'un des pôles était en connexion avec le fil A et l'autre avec le fil F.

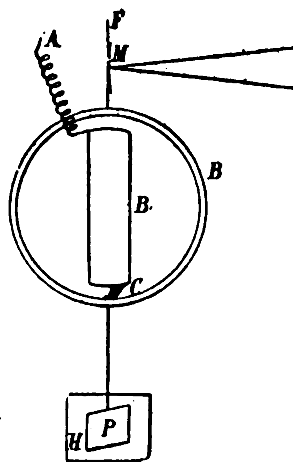


Fig. 1.

Cet appareil était étalonné au préalable au moyen du courant continu; les résultats étaient dressés sous forme de tableau et les mesures correspondaient aux déviations lues; la régularité de la loi vérifiée au moyen de deux graphiques où les déviations et les ordonnées correspondaient aux intensités en milliampères et aux résistances en ohms.

Pour le courant continu, on disposait d'une différence de potentiel de 115 volts, qu'on faisait varier au moyen d'un rhéostat gradué R intercalé dans le circuit. On partait, dans les expériences, de la valeur maximum de R, et, le sujet ayant été intercalé dans le circuit, on notait la déviation de l'appareil, correspondante à une intensité et une résistance données par le tableau. La résistance du corps humain était la différence entre la résistance totale lue sur le tableau et la résistance auxi-

---

[1] Cette étude, que nous annoncions dans un précédent numéro, est extraite du récent ouvrage de l'auteur *Contrôle des installations électriques*.

INTENSITÉS SUPPORTÉES PAR DIVERSES PERSONNES

ET RÉSISTANCES DE LEUR CORPS AUX DEUX SORTES DE COURANTS

N° d'ordre	N°s des expériences consécutives faites sur un même sujet.	Dates des expériences	Numéros des sujets	Voltage entre les mains	Intensité en milliampères	Résistance en Ohms	Observations
				A). COURANT CONTINU			
1	1		N° 1	47v	7	6 750 ω	Sensation peu appréciable lorsque le régime est établi.
	2		—	66	11	6 000	La main en contact avec le négatif *se colle* sur l'électrode.
	3		—	70	17,5	4 000	Sensation de fer rouge très intense surtout au négatif.
2	1		N° 2	29	9	3 200	Peu douloureux ; mains moites immédiatement.
	2		—	45	14	3 200	Pas de diminution dans la résistance.
3	1		N° 3	31	5	6 200	
	2		—	39	7,5	5 250	La main correspondant au négatif commence à brûler et à *coller*.
	3		—	57	12	4 750	
				81	18	4 500	Sensation très intense de fer rouge, surtout au négatif. Se *colle* assez fort.
4	1		N° 4	37,5	5	7 500	
	2		—	44	5,5	8 000	Commence à *coller*.
	3		—	74	9,5	7 750	
	4		—	89	17	5 250	Moins de *collage* qu'à 44 volts.
5	1		N° 5	42	7	6 000	Très sensible au courant dès la première expérience, mais s'acclimate facilement.
	2		—	62	13	4 750	
6	1		N° 6	27	6	4 500	Légère sensation au poignet positif. La résistance passe à 5 000 ohms après deux secondes (sans doute à cause de la polarisation).
	2		—	37,5	7,5	5 000	La sensation de brûlure au négatif s'accentue.
	3		—	57	12	4 750	Sensation de fer rouge, surtout au négatif. Sensation douloureuse au poignet positif. La main négatif se colle sur l'électrode.
	4		—	76	20	3 800	Sensation douloureuse très forte. Main négative absolument *collée*, même après le passage du courant.
				B). COURANT ALTERNATIF. (*Fréquence 88*)			
1	1		N° 2	8v	3	2 700 ω	Très supportable.
	2		—	16	9	1 800	Désagréable. — Peut lâcher facilement.
	3		—	23	13	1 700	Lâche difficilement.- Sudation très abondante.
	4		—	30	17	1 600	Maximum supportable. - Ne peut plus lâcher.
2	1		N° 4	14	2,5	5 500	Résistance initiale très grande, mais sudation *très grande*, et diminution de la résistance très rapide.
	2		—	24	11	2 200	Lâche encore. — Maximum d'endurance observée.
	3		—	33	18	1 800	
3	1		N° 5	6	3	2 000	
	2		—	16	9	1 800	
	3		—	17	11	1 500	Lâche avec difficulté.
4	1		N° 6	12	3	4 000	
	2		—	17	8	2 100	Sue énormément.
	3		—	20	12	1 700	
	4		—	26	18	1 400	Lâche avec difficulté après plusieurs efforts répétés.
	5		—	10	3,3	3 000	Entre pied droit et main gauche. Le pied repose sur une plaque métallique.
	6		=	22	14	1 700	Moins douloureux au pied qu'à la main.
5	1		N° 7	6	3,5	1 600	A été, sans entraînement préalable, jusqu'à très grande intensité.
	2		—	14	9	1 500	
	3		—	18	12	1 500	Lâche très facilement. — Sue un peu.
6	1		N° 8	11	3	8 500	
	2		—	25	11	2 300	Lâche facilement.
	3		—	36	18	2 000	Ne peut plus lâcher. Particularité : *Ne sue pas*.

liaire R. En faisant varier R, on obtenait divers voltages, auxquels le corps du sujet était successivement soumis.

Pour le courant alternatif, on disposait d'une différence de potentiel de 100 volts et on intercalait aussi dans le circuit une résistance variable à self-induction. L'intensité était donnée par le tableau, comme dans le cas précédent ; pour avoir la résistance, on substituait au corps une autre résistance graduée, mais sans self-induction, que l'on faisait varier de façon à obtenir la même déviation.

On a soumis chaque sujet à des voltages différents. Les électrodes étaient constituées chacune par un cylindre en cuivre de 12 cm de longueur et 1,3 cm de diamètre, ayant ainsi une surface de 49 cm^2, dont la moitié environ entrait en contact en tenant l'électrode à la main. Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux de la page ci-contre.

On peut faire, après ces expériences, les observations suivantes :

a). Courant continu. — 1° La résistance du corps a varié de 3 200 à 8 000 ohms suivant les sujets et le numéro de l'expérience.

2° La sensation que l'on éprouve par le passage du courant est celle d'une *brûlure ;* elle est particulièrement vive au poignet de la main en contact avec l'électrode négative.

3° Dans une série d'expériences consécutives où le voltage s'élève peu à peu, les sujets s'accoutument à une intensité plus grande ; la résistance diminue en même temps.

4° Une intensité de 20 milliampères est encore supportable.

5° A partir de 70 volts environ, la sensation est *généralement* douloureuse et il y a lieu d'éviter les contacts avec des voltages plus élevés.

6° La main en contact avec l'électrode négative a tendance à s'y *coller*, même après le passage du courant.

7° Quand on supprime brusquement un courant assez intense, on perçoit, surtout au poignet en contact avec l'électrode négative, la sensation d'un *fourmillement*, analogue à celui que l'on ressent avec le courant alternatif. Cette sensation dure plus ou moins longtemps, selon les sujets, deux minutes au maximum.

b). Courant alternatif. — 1° La résistance du corps a varié de 1 500 à 5 500 ohms, suivant les sujets et le numéro de l'expérience.

2° La sensation que l'on éprouve par le passage du courant est celle d'un fourmillement; il y a, en général, sudation abondante, et cet effet paraît avoir une influence importante sur la diminution de la résistance avec le courant alternatif par rapport à celle qu'on constate avec le courant continu.

3° Dans une série d'expériences consécutives où le voltage s'élève peu à peu, les sujets s'accoutument à une intensité plus grande ; la résistance diminue en même temps, mais cette accoutumance ne dure que quelques heures.

4° Une intensité de 20 milliampères est encore supportable, mais très douloureuse.

5° A partir de 15 volts environ, la sensation est généralement douloureuse. A partir de 25 volts, il y a généralement contraction et le sujet ne peut plus de lui-même lâcher les électrodes.

6° Les effets d'une intensité dépassant 10 milliampères ne sont pas seulement douloureux sur le moment, mais persistent pendant plusieurs jours ; les articulations des bras restent encores douloureuses, comme si le sujet avait été roué de coups de bâton.

c). Comparaison des effets des deux natures de courant. — 1° Le courant alternatif est infiniment plus pénible à supporter que le courant continu.

2° A voltage égal, la résistance du corps au courant continu est plus grande qu'au courant alternatif : le rapport varie de 2 à 4.

On trouve dans l'ouvrage de M. Mommerqué une étude complète des effets dangereux des courants électriques au point de vue physiologique en particulier. Il est utile de rappeler à ce propos qu'en Amérique des expériences analogues avaient été faites par MM. Harris et Lawrence. Ces expérimentateurs avaient trouvé un rapport entre les résistan-

ces du corps humain aux deux sortes de courants plus fort que celui de 2 à 4, donné par M. Monmerqué. Pour le courant continu la résistance dans les expériences américaines variait avec les sujets de 3900 à 36000 ohms, au lieu de 3000 à 7500 ohms dans les expériences faites à l'usine des Halles, et de 1437 à 1740 ohms au courant alternatif au lieu de 1500 à 5000 ohms. Il est évident que les conditions mêmes de l'expérience peuvent faire varier beaucoup les résultats.

Quelle que soit la valeur de ce rapport, ces expériences paraissent démontrer que la résistance du corps humain est moindre avec le courant alternatif qu'avec le courant continu; par suite, le premier est plus dangereux, toutes choses égales d'ailleurs. Avec un voltage de 200 volts, le corps d'un homme saisissant les deux conducteurs avec des mains sèches, serait traversé par 13 (¹) ou 115 milliampères, suivant que le courant serait continu ou alternatif. En outre, il ne faut pas oublier qu'en courant alternatif, 115 milliampères efficaces correspondent à une intensité périodique variant entre + 162 et — 162 milliampères.

On constate une autre différence entre les deux sortes de courants : avec les courants continus, il y a malaise, qui peut aller jusqu'à la syncope et la mort; mais, tant que l'homme a sa connaissance, il peut lâcher les conducteurs. Avec le courant alternatif, au contraire, il y a contraction des doigts, et il faut une force extérieure pour faire abandonner les conducteurs.

J. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Société française de Physique.

Séance du 15 mai

Après avoir rendu compte des séances de Pâques (¹) et adressé aux exposants les remerciements de la Société, M. Bouty, président, donne connaissance d'une lettre de MM. *Oumof* et *Samoïlof* dans laquelle ces savants annoncent avoir obtenu des figures analogues à celles de Lichtenberg en projetant un mélange de minium et de soufre en poudre sur une plaque d'ébonite placée derrière des objets soumis aux rayons Roentgen.

M. *Pierre Weiss* fait ensuite deux communications sur l'« aimantation des alliages de fer et d'antimoine » et sur « la dégradation de l'énergie dans l'aimantation », sujets qui seront l'objet de plusieurs articles de l'auteur que nous publierons bientôt.

M. *Maurice d'Ocagne* présente une machine très ingénieuse pour la résolution des équations algébrique imaginée par M. *Torrès* et déjà présentée par ce dernier au Congrès de Bordeaux de l'Association française pour l'avancement des sciences.

(¹) Voir *l'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 68 et 113, 11 et 18 avril 1896.

Sur le rôle du noyau de fer de l'induit dans les machines dynamo-électriques, par Marcel Deprez (¹).

« On sait que l'induit d'une machine dynamo-électrique, dont l'enroulement est fait suivant le principe de Pacinotti, donne une force électromotrice beaucoup plus faible lorsque le noyau de fer est remplacé par un noyau en bois ou en toute autre substance isolante. L'augmentation considérable d'effet obtenue avec le noyau de fer est due à deux causes qui sont : 1° l'augmentation de la force électromotrice développée dans la partie de spires de l'enroulement qui est extérieure au noyau de fer; 2° la diminution de la force électromotrice développée dans la portion de ces mêmes spires qui est intérieure au noyau de fer.

» On explique ces deux effets de la manière suivante : La présence de l'anneau de fer dans l'espace circulaire laissé libre entre les pièces polaires des inducteurs diminue beaucoup la *réluctance* du circuit magnétique et augmente par suite l'intensité du flux de force magné-

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1027; 11 mai 1896.

tique des inducteurs qui est donnée approximativement, comme on le sait, par la formule

$$\mathcal{F} = \frac{4\pi n I}{\mathcal{R}},$$

dans laquelle $\mathcal{R}$ représente la somme des réluctances des pièces de fer (inducteurs et induit) qui constituent le circuit magnétique et de la couche d'air comprise entre les pièces polaires et le noyau de fer induit. S'il n'y avait pas de noyau de fer dans l'induit, cette couche d'air aurait une épaisseur et par suite une réluctance considérable ; en la diminuant considérablement par la présence du noyau de fer induit, on diminue d'autant la réluctance totale du circuit magnétique et on augmente $\mathcal{F}$ jusqu'à une limite qui correspond au cas où le noyau de fer viendrait toucher les pièces polaires.

» Quant à la diminution de la force électromotrice, développée dans la partie intérieure des spires de l'induit, elle serait due à ce que le flux de force émané de l'inducteur, trouvant dans le fer du noyau induit un chemin beaucoup moins résistant que l'espace aérien compris dans le cercle intérieur de ce noyau, passe en très grande partie par la partie métallique du noyau de fer et par conséquent ne coupe pas les fils intérieurs des spires. La faible portion du flux total qui traverse la zone intérieure du noyau contribue donc seule à la production de la force électromotrice nuisible, et l'on peut la rendre absolument négligeable en donnant à la partie annulaire du noyau une grande épaisseur.

» Telle est, en peu de mots, la théorie aujourd'hui enseignée partout et reproduite avec figures à l'appui dans tous les Traités d'électricité. Dans ces figures, les flux de force magnétique sont représentés par des lignes émergeant normalement des pièces polaires et pénétrant ensuite dans le noyau de fer induit dont elles parcourent symétriquement les deux demi-zones annulaires métalliques sans pénétrer dans la zone intérieure.

» Cette manière d'expliquer la raison pour laquelle les fils intérieurs ne produisent pas de force électromotrice paraît corroborée par l'examen des fantômes magnétiques, obtenus au moyen de la limaille de fer projetée dans les régions extérieure et intérieure à l'anneau de fer. Ces fantômes indiquent, en effet, un champ très énergique à l'extérieur de l'anneau et très faible à l'intérieur. Il est donc naturel de penser que la théorie actuelle est exacte, puisqu'elle semble en parfait accord avec les faits. On peut la résumer en disant que l'emploi du fer placé dans un champ magnétique permet de modifier arbitrairement la distribution des flux de force de ce champ et de les empêcher de passer dans une région de l'espace où leur présence serait nuisible pour les rejeter dans une autre où elle devient utile.

» S'il en était réellement ainsi, on pourrait facilement utiliser cette propriété du fer pour construire une machine capable d'engendrer un courant rigoureusement continu par le déplacement d'un circuit fermé rigide dans un champ magnétique uniforme. On sait que ce résultat ne peut être obtenu lorsque le circuit est constitué par un fil formant une ou plusieurs spires complètes ne contenant pas de fer, parce que les flux de force du champ magnétique déterminent dans l'ensemble du circuit induit des forces électromotrices qui se neutralisent. Ceci va devenir plus clair par l'exemple suivant.

» Supposons que sur un disque en bois capable de tourner autour d'un axe horizontal dans un champ magnétique uniforme dont les lignes de force sont parallèles à l'axe de rotation, on fixe un fil métallique rectiligne allant du centre à la circonférence. Si l'on imprime à ce disque un mouvement de rotation, la force électromotrice développée aura pour expression

$$n \pi r^2 h,$$

n étant le nombre de tours par seconde ; r la longueur du fil comptée depuis le centre ; h étant l'intensité du champ supposé uniforme.

» L'expérience étant faite, entourons le fil d'un tube de fer très épais, de même longueur que lui, et remettons le système en mouvement à la même vitesse. Si l'on répète la

construction graphique qui se trouve reproduite dans tous les Traités d'électricité lorsque l'on veut expliquer le rôle du noyau de fer des machines Pacinotti, on trouve que les lignes de force du champ magnétique ne pénètrent pas dans la zone intérieure du tube de fer et ne peuvent, par conséquent développer dans le fil tournant aucune force électromotrice. Si le tube avait une épaisseur insuffisante, la théorie classique nous apprend qu'une partie du flux de force pénétrerait dans la zone intérieure et développerait dans le fil une force électromotrice d'autant plus considérable que l'épaisseur du tube protecteur serait plus faible.

» Quand on fait l'expérience on constate que, quelle que soit l'épaisseur du tube, la force électromotrice développée est *rigoureusement* la même que s'il n'y avait pas de tube. S'il en était autrement, il serait facile de construire une machine à courant rigoureusement continu sans balais et sans collecteurs donnant une force électromotrice aussi grande qu'on voudrait.

» La conclusion à tirer de cette expérience, c'est que les flux de force magnétique traversent le fer exactement comme les autres métaux. Quant à l'explication complète de l'expérience que je viens de signaler et que j'ai faite pour la première fois il y a trois ans, ainsi que des conséquences qui en découlent pour l'analyse du rôle de l'anneau de fer des machines du genre Pacinotti, je la ferai connaître dans une prochaine Communication.

» Je me contenterai, quant à présent, de signaler les conséquences suivantes de la théorie nouvelle dont je viens d'exposer le principe.

» *a*. Lorsque plusieurs masses magnétiques sont réparties d'une manière quelconque dans l'espace, les flux de force de chacune d'elles se propagent comme si les autres masses n'existaient pas.

» *b*. La force appliquée à une masse magnétique égale à l'unité placée en un point quelconque dans l'espace a pour expression la valeur du *champ résultant* en ce point et la valeur de cette résultante est indépendante de l'état de repos ou de mouvement des masses agissantes; elle ne dépend que de leur intensité magnétique et de leurs coordonnées.

» *c*. La force électromotrice d'induction développée sur un élément de conducteur est, au contraire, une fonction du mouvement relatif que pourrait avoir cet élément par rapport à chacune des masses agissantes. Si, par exemple, l'une des masses agissantes est liée à l'élément induit de façon à être en repos relatif par rapport à lui, elle ne produira sur lui aucune force électromotrice d'induction.

» *d*. Il résulte de là que l'on ne peut nullement conclure la force électromotrice d'induction développée dans un conducteur par un ensemble de masse magnétiques dont les unes sont fixes (inducteurs), tandis que les autres sont en mouvement (armature), de l'examen des fantômes magnétiques qui existent dans les régions parcourues par le fil induit ».

Sur l'abaissement des potentiels explosifs dynamiques par la lumière ultra-violette et l'interprétation de certaines expériences de M. Jaumann par M. R. Swyngedauw, [1]

« Jai montré antérieurement [2] que sous l'action de la lumière ultra-violette, les potentiels explosifs dynamiques subissent un abaissement plus considérable que les potentiels statiques.

» En opérant avec la lumière de l'arc voltaïque, suivant la méthode décrite précédemment, on n'observe, dans certains cas, aucune différence nettement appréciable entre les abaissements statique et dynamique.

» Pour trouver la raison de cette anomalie, je fus conduit à préciser davantage les conditions qui différencient la charge statique de de la charge dynamique d'un excitateur.

» L'abaissement des potentiels explosifs par la lumière ultra-violette peut être représenté par la loi générale suivante :

(1) *Comptes rendus* t. CXXII, p. 1052; séance du 11 mai.

(2) *Comptes rendus*, du 20 janvier 1896. — *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 230; 1er février 1896.

» *L'abaissement du potentiel explosif d'un excitateur sous l'action des radiations ultra-violettes est une fonction croissante paire de la vitesse de variation du potentiel* $\frac{\partial V}{\partial t}$, *à l'instant où l'étincelle éclate.*

» On peut tirer de cette proposition un certain nombre de conséquences qui ont été vérifiées par l'expérience. Je ne mentionnerai que les suivantes :

» Dans la charge dynamique déjà citée :

» I. Si l'étincelle éclate pour un potentiel de plus en plus voisin du potentiel maximum V', $\frac{\partial V}{\partial t}$ tend vers o, *l'abaissement du potentiel explosif dynamique tend vers l'abaissement statique.*

» II. Si l'on observe un abaissement du potentiel explosif plus grand que dans la charge statique, c'est que l'étincelle dynamique a éclaté à un instant où $\frac{\partial V}{\partial t} > 0$, par suite *à un potentiel v inférieur au potentiel maximum* V'.

» On démontre expérimentalement ces diverses conséquences par la méthode des deux excitateurs dérivés (¹). Cette méthode permet en effet de résoudre le problème suivant :

» *Trouver la distance explosive d'un excitateur* $E_1 E_2$ *qui se décharge pour le même potentiel qu'un excitateur* $N_1 N_2$ *placé à l'abri des radiations ultra-violettes : 1° quand* $E_1 E_2$ *n'est pas éclairé par ces radiations ; 2° quand* $E_1 E_2$ *est éclairé. Si l'on prend pour distance explosive de* $N_1 N_2$ *la moitié de la distance critique, sous l'action de la lumière ultra-violette d'une lampe à arc ordinaire concentrée sur l'excitateur* $E_1 E_2$ *par une lentille en quartz, la distance explosive de* $E_1 E_2$ *varie à peu près du simple au double.* (Les pôles de l'excitateur sont formés de sphères en laiton de 1 cm de rayon environ). Sous cette forme on peut montrer très simplement, dans un cours, l'influence des radiations ultra-violettes sur les potentiels explosifs (²).

» III. Si l'on provoque des variations très petites mais très rapides du potentiel d'un *excitateur éclairé par la lumière ultra-violette*, cet excitateur se décharge pour un potentiel plus faible que le potentiel explosif de l'excitateur chargé lentement par une machine électrostatique.

» On le démontre par des expériences dont le principe a été donné antérieurement (¹). Pour observer l'abaissement du potentiel explosif, il ne suffit pas d'éclairer le champ de l'excitateur, il faut éclairer l'un des pôles au point où jaillit l'étincelle ; si les pôles sont des sphères de diamètre inférieur à une certaine limite, 0,5 cm environ, il faut éclairer le pôle négatif, le pôle positif est insensible. Si le diamètre est supérieur à cette limite, il suffit d'éclairer l'un ou l'autre des pôles. Avec un excitateur dont les pôles ont un diamètre de 1,5 cm ou 2 cm, on produit le *même abaissement en éclairant le pôle positif ou le pôle négatif ou les deux simultanément.*

» D'après M. Jaumann, les variations très rapides du potentiel *suffisent* pour abaisser le potentiel explosif d'un excitateur, Ce physicien avait tiré cette conclusion d'une série d'expériences ingénieuses (²) pour l'interprétation desquelles *il admettait implicitement*, avec tous les physiciens, que *la lumière ultra-violette abaisse de la même quantité les potentiels explosifs statique et dynamique.*

» Ces expériences sont de deux genres. Dans les unes, la présence de la lumière ultra-violette est évidente. M. Jaumann transforme, à l'aide de variations très petites et très rapides du potentiel une décharge *par effluve* en une décharge par étincelle ou par aigrette. Dans les autres, pour la description desquelles je renvoie au Mémoire original (³), les précautions nécessaires pour se mettre à l'abri de la lumière ultra-violette ne sont pas prises ; l'interprétation que M. Jaumann en donne prête d'ailleurs à des critiques sur les-

(¹) Voir *Compt. rend.*, 8 juillet 1895. *Écl. Él.*, t. IV, p. 326.

(²) Il est essentiel d'opérer avec les précautions indiquées (*Comptes rendus*, 8 juillet 1895). On peut remplacer la bobine $B_1 B_2$ par une colonne d'un liquide électrolytique, du sulfate de cuivre par exemple.

(¹) *Comptes rendus* du 22 juillet 1895. *Écl. Él.*, t. IV, p. 469.

(²) *Sitz. Ber. der kais. Akad. zu Wien*, juillet 1888, p. 765.

(³) *Loc. cit.*, p. 773.

quelles je reviendrai dans un Mémoire plus étendu.

» En résumé, les expériences dans lesquelles M. Jaumann a constaté l'influence de la vitesse de variation du potentiel $\frac{\partial V}{\partial t}$ sur le potentiel explosif ont été faites en présence de lumière ultra-violette. Si l'on provoque des variations très rapides du potentiel d'un excitateur *protégé soigneusement contre les radiations ultra-violettes*, on n'observe aucun abaissement appréciable du potentiel explosif [1].

Sur les méthodes de détermination des constantes diélectriques, par W. Nernst [2].

Pour déterminer la constante diélectrique d'une substance isolante, il suffit de comparer la capacité d'un condensateur dont les armatures sont séparées par cet isolant à la capacité d'un condensateur de même dimensions, mais dont les armatures sont séparées par l'isolant pris comme point de comparaison (l'air par exemple).

Cette comparaison de capacités peut s'effectuer à l'aide du pont de Wheatstone. Les condensateurs c_1 et c_4 seront par exemple disposés sur les branches 1 et 4 du pont ; et les autres branches seront formées par des résistances r_2 et r_3, dépourvues de capacité.

La pile sera remplacée par une bobine d'induction et le galvanomètre par un téléphone. Le téléphone ne restera silencieux que si :

$$c_1 : c_4 = r_3 : r_2. \qquad (1)$$

M. Palaz fait varier à l'aide d'un contact glissant le rapport $r_2 : r_3$ jusqu'à ce que le téléphone soit silencieux et détermine ainsi directement la valeur du rapport. M, Nernst fait au contraire $r_3 = r_2$ dès le début et réduit ensuite le téléphone au silence en modifiant la capacité de l'un des condensateurs. On obtient également de bons résultats en remplaçant les résistances r_3 et r_2 par d'autres capacités c_3 et c_2. Le silence du téléphone correspond à la condition :

$$c_1 : c_2 = c_3 : c_4, \qquad (2)$$

c'est la méthode de Gordon.

Seulement toutes ces manières d'opérer supposent implicitement que les condensateurs sont parfaitement isolés. Si l'un des condensateurs possède des traces de conductibilité, il devient impossible d'obtenir le silence absolu du téléphone. On n'observe plus qu'un minimum plus ou moins accusé, et, encore exactes en principe, les méthodes précédentes deviennent difficilement applicables à des mesures précises.

On a essayé d'éliminer l'influence de la conductibilité en enfermant le diélectrique dans une cuve de verre interposée entre les armatures du condensateur, mais le but n'est pas atteint, car on laisse ainsi subsister les effets d'influence électrostatique auxquels donne lieu la conductibilité du diélectrique. M. Nernst a indiqué une autre méthode qui donne des résultats plus satisfaisants. Supposons par exemple que le condensateur c_1 possède une certaine conductiblilité. Pour rendre l'expérience possible, il suffira de mettre sur le condensateur c_4 (supposé parfaitement isolé), une dérivation et de lui faire acquérir ainsi artificiellement une conductibilité convenable. Si par exemple, ce qui est le cas le plus simple et le plus commode en pratique,

$$r_3 = r_2. \qquad (3)$$

et que la résistance du condensateur mal isolé soit r_1, et la résistance de la dérivation r_4, il faudra, pour réduire le téléphone au silence, prendre :

$$c_1 = c_4 \qquad (4)$$

$$r_1 = r_4, \qquad (5)$$

comme il est aisé de le vérifier par de simples considérations de symétrie.

En réalité, soit qu'on fasse varier c_4, soit qu'on fasse varier r_4, on observe dans les deux cas un minimum; ce qui permet de déterminer directement c_1 et r_1.

Bien entendu, il faut prendre pour la dérivation r_4 une résistance sans capacité, ou faire

[1] *Institut de Physique de la Faculté des Sciences de Lille.*

[2] *Zeitsch. f. ph. Chemie*, XIV, t. p. 622, 1894. *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 209; 1896.

la correction convenable : en toute rigueur, les résistances r_3 et r_2 devraient être également dépourvues de capacité ; mais l'influence de leurs capacités disparaît si on a soin de prendre ces résistances identiques sous tous rapports.

Pour que le téléphone puisse rester silencieux, il faut que les équations (4) et (5) soient simultanément remplies ; c'est en effet la condition pour que les courants qui passent dans les branches 1 et 2 du pont aient même intensité et même phase, autrement on n'obtient que deux minimums, comme nous l'avons fait remarquer.

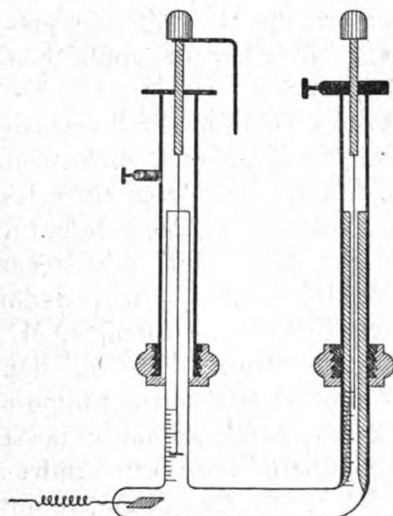


Fig. 1.

Détails de l'appareil. — Il est nécessaire à la sensibilité de la méthode que la bobine d'induction possède un interrupteur très rapide, parce que l'oreille est plus sensible aux sons aigus qu'aux sons graves ; il est à désirer aussi que cet interrupteur fasse le moins de bruit possible. Après plusieurs essais, M. Nernst a adopté un interrupteur vibrant formé par une corde de 10 à 12 cm de longueur, mollement tendue, de manière à n'émettre qu'un léger bourdonnement. Les résistances dérivées r_2 et r_3, devant être très grandes, sont formées par des colonnes d'électrolytes dans lesquelles on peut enfoncer plus ou moins une tige de laiton terminée par une électrode en platine ; quant à l'électrolyte, on peut choisir avec avantage une dissolution de 1 mol. de mannite avec 1 mol. d'acide borique dans un litre d'eau ; la résistivité de cette dissolution varie en effet très peu avec la température.

Le condensateur à capacité variable est constitué par deux lames épaisses en laiton, parallèles, séparées par des lames minces de verre et maintenues à une distance invariable par des vis en ébonite. On fait varier la capacité de ce condensateur en enfonçant plus ou moins entre les deux armatures une lame de verre; les déplacements de cette lame sont lus sur une règle munie d'un vernier; l'appareil ayant été calibré une fois pour toutes, on déduit immédiatement la capacité de la position de la lame de verre.

La résistance de compensation r_1 est aussi une résistance électrolytique. L'électrolyte est contenu dans un tube capillaire divisé, dont l'extrémité inférieure est traversée par un fil de platine, tandis qu'à la partie supérieure pénètre un autre fil de platine; celui-ci est porté par une garniture qui permet de l'enfoncer plus ou moins dans le liquide (fig. 1).

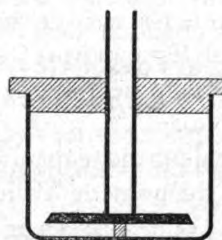


Fig. 2.

Dans les expériences qui portent sur les liquides très peu conducteurs, le tube capillaire n'a qu'un mm. de diamètre environ ; si les liquides étudiés sont passablement conducteurs, on emploie un tube qui a un diamètre de 5 mm environ et dans lequel pénètrent des électrodes de platine qui occupent presque toute la section du tube.

La cuve contenant le diélectrique et formant condensateur a la forme représentée sur la figure 2 ; elle est en nickel et fermée par un couvercle d'ébonite bien ajusté. (Cohn et Arons,

Wied. Ann. t. XXVIII, p. 461. 1886. — *Lum. Élect.*, t. XXI, p. 367.

Le fond de la cuve constitue l'une des armatures, l'autre est une lame de nickel, supportée par un tube qui traverse le couvercle et maintenue à une distance invariable de l'autre armature par une cale de verre ; un thermomètre est placé dans l'axe du tube ; le liquide s'élève un peu au-dessus du bord inférieur de l'armature, laquelle est taillée en biseau.

Le téléphone doit être muni d'un fil très fin; il faut le tenir par un manche isolant pour éviter des bruits accessoires qui gêneraient l'observation.

Pour rendre l'expérience plus commode et plus exacte, il est avantageux de placer un condensateur et une résistance de compensation sur chacune des branches du pont et de mettre en dérivation la cuve diélectrique successivement sur chacune des branches. Les deux condensateurs ayant été réglés d'abord de manière à faire taire le téléphone, on rétablit ensuite l'équilibre, détruit par l'adjonction de la cuve à l'un d'eux, en modifiant la capacité de l'autre.

Pendant toute la durée de l'expérience, il est important d'éviter toute communication avec le sol et aussi de toucher avec la main une des parties conductrices de l'appareil.

D'après le principe même de la méthode, la même disposition permet de déterminer la conductibilité du diélectrique, il suffit de mettre la cuve électrolytique en série avec l'un des condensateurs et de chercher la variation Δr_1, qu'il faut faire subir à la résistance de compensation r_1 pour ramener le téléphone au silence. La résistance de la cuve diélectrique est égale à Δr_1.

Causes d'erreur. — Les principales causes d'erreur qui pourraient influer sur les mesures seraient dues à une construction défectueuse du condensateur, au défaut d'homogénéité du diélectrique et à la polarisation des électrodes.

Les précautions prises dans la construction du condensateur ont été indiquées précédemment. L'hétérogénéité du diélectrique, provoquée soit par les variations de température, soit par la présence d'impuretés qui augmentent la conductibilité au voisinage des électrodes, se manifestera par des valeurs trop élevées de la capacité ; il faudra dans ce cas nettoyer la cuve et agiter le liquide immédiatement avant la mesure.

La plupart du temps la correction qui provient de la capacité que possède la résistance de compensation est tout à fait négligeable. Si cette correction est nécessaire, on la calcule en écrivant que le rapport des capacités de la cuve et de la résistance est égal au rapport inverse des conductibilités des liquides dont elles sont remplies, multiplié par le rapport de leurs constantes diélectriques ; il suffit donc pour déterminer ce rapport de faire une expérience avec des liquides dont les constantes sont connues.

La polarisation n'a pas d'influence appréciable dans les condensateurs dont les électrodes sont à une distance qui dépasse 5 mm et dont le diélectrique a une conductibilité inférieure à 2×10^{-10}.

Au contraire, la polarisation des électrodes dans les résistances de compensation trouble la netteté du minimum observé dans le téléphone et change le timbre du son quand on change la cuve d'une branche à l'autre du pont. Mais on peut rendre cette polarisation insensible en employant des électrodes de platine platiné, et en évitant de les approcher l'une de l'autre à une distance moindre que 2,5 cm à 3 cm.

Déterminations absolues. — Les procédés décrits ci-dessus se prêtent seulement à la comparaison des constantes diélectriques : dans les déterminations absolues, il faudrait tenir compte de la capacité de la tige qui supporte l'armature du condensateur. Pour éviter cette mesure difficile, on fait deux expériences : l'une avec le condensateur vide, l'autre avec le condensateur plein du liquide : puis on répète ce même couple de mesures avec une autre distance des armatures : si s_1, S_1, s_2, S_2 représentent les capacités ainsi

obtenues, α la capacité parasite, on a :

$$D = \frac{S_1 - \alpha}{s_1 - \alpha} = \frac{S_2 - \alpha}{s_2 - \alpha} = \frac{S_2 - S_1}{s_2 - s_1}.$$

Comparaison avec les méthodes électrométriques. — M. Nernst a comparé les résultats obtenus par cette méthode à ceux qu'ont donnés MM. Landolt et Jahn. Ces derniers se servaient de la méthode électrométrique. Les différences entre les chiffres trouvés (sur les mêmes échantillons) sont petites, mais sont toutes dans le même sens.

La méthode électrométrique donne des valeurs toujours plus grandes que les valeurs fournies par la première méthode et l'écart est d'autant plus grand que les constantes diélectriques sont plus grandes.

M. Nernst attribue à cette erreur systématique la cause suivante : Plus la constante diélectrique est grande, plus les lignes de force électrostatique qui vont de l'un à l'autre des quadrants de l'électromètre se concentrent vers l'intérieur et il en résulte que l'attraction sur l'aiguille augmente plus rapidement que la constante : on est ainsi amené à trouver des valeurs trop fortes.

Les expériences dans lesquelles on renferme les diélectriques quelque peu conducteurs dans une auge en verre placée entre les armatures du condensateur fournissent aussi des chiffres trop élevés : les raisons en ont été données plus haut.

Il semble donc démontré par cette discussion que la méthode proposée par M. Nernst soit actuellement la plus précise pour la détermination des constantes diélectriques, en particulier quand la conductibilité de ce diélectrique n'est pas négligeable.

M. L.

Sur les rayons cathodiques et la décharge continue à travers les gaz, par O. Lehmann(¹)

L'auteur rappelle brièvement les principales théories qui ont été données pour expliquer les phénomènes de décharge dans les gaz. Ces théories se partagent en deux grands groupes différant sur un point essentiel. Pour certains physiciens qui adoptent les idées de Crookes, les phénomènes de décharge, de fluorescence etc., sont intimement liés à un transport de matière : pour les autres, tels que Goldstein, E. Wiedemann, ce n'est pas le gaz lui-même mais l'éther qui est le siège de la décharge. Les avis sont aussi partagés sur d'autres particularités du phénomène.

Existe-il réellement une différence de nature entre la lumière observée au pôle positif et la lumière observée au pôle négatif ? En général ces deux lumières présentent une différence de coloration plus ou moins marquée, particulièrement dans l'azote : mais ces colorations pas plus que l'existence d'un espace obscur, lequel fait quelquefois défaut, ne constituent pas une différence essentielle. La propriété d'exciter la fluorescence appartient d'ordinaire à la lumière négative ; mais on l'observe aussi parfois dans la lumière positive. Les deux lumières ne se distinguent pas davantage par l'action de l'aimant comme l'a cru Plücker ; l'une et l'autre se comportent comme des conducteurs flexibles.

Un caractère spécifique réside au contraire dans la structure de ces masses lumineuses. En effet la lumière négative se divise en trois parties : une frange rougeâtre autour de la cathode, un espace cathodique obscur et une lueur bleuâtre, nettement délimitée du côté de l'espace obscur ; quant à la lumière positive elle est formée de strates en nombre plus ou moins grand et ne présente jamais d'espace obscur.

M. Lehmann a effectué des expériences très nombreuses avec des électrodes de forme très variée et a toujours observé ces mêmes caractères, avec deux électrodes en forme de tige, ou en forme de disques, ou l'une en forme de disque et l'autre constituée par l'extrémité d'une tige (électrode-point) ou enfin avec une électrode-point et l'autre annulaire.

II. On s'est demandé encore quelle était, dans la décharge, le trajet des lignes de courant. Si on admet que les phénomènes lumineux dessinent les lignes de courant, on

(¹) *Wied. Ann.*, t. LVI p. 304.

trouve que les lignes ne se croisent jamais. Dans tous les cas, à la limite de l'espace cathodique obscur elles s'épanouissent notablement et sont nettement coupées, comme si cet espace était rempli d'une substance fort peu apte à conduire le courant. Cette observation est d'accord avec celles plus anciennes de Hittorf et de Warburg, d'après lesquelles il s'accumule de l'électricité positive sur la limite de l'espace cathodique obscur. Cette électricité est contenue dans l'air, et il semble que l'air électrisé positivement abandonne difficilement sa charge à la cathode, tandis que l'air négatif céderait aisément sa charge à l'anode ; ces phénomènes sont du reste tout à fait indépendants de la nature des électrodes.

III. *Couches électriques doubles sur les électrodes.* — L'auteur conclut de ces observations qu'il faut attribuer l'aspect différent de la décharge aux deux pôles à ce que les ions gazeux négatifs cèdent plus facilement leur charge que les ions positifs : il se formerait ainsi au voisinage des électrodes des couches électriques doubles, l'une sur l'électrode l'autre dans l'air.

En reliant les pôles du tube à ceux d'une dynamo à haute tension dont on augmente progressivement l'excitation, on détermine la différence de potentiel à laquelle commence la décharge. — A 750 volts, puis à 900 et à 1100 etc., on observe une décharge isolée entre les électrodes et la paroi du tube : c'est à 1500 volts seulement que commence la décharge lumineuse ordinaire reliant d'une façon continue une électrode à l'autre. — Les autres décharges sont obscures : à peine dans une chambre obscure peut-on constater une lueur sur les électrodes ; l'existence de cette lueur concorderait avec cette idée de Faraday que la décharge par convection est une décharge disruptive incomplète.

2. *Décharges alternatives dans les tubes vides.* Les phénomènes présentent la même allure quand on emploie comme source d'électricité un alternateur, les électrodes du tube étant reliées aux pôles d'un transformateur par l'intermédiaire d'une résistance (colonne d'eau). La décharge commence quand la différence de potentiel moyenne atteint 250 volts et devient lumineuse à 290 volts ; à partir de là, l'indication de l'électromètre reste constante, l'élévation de la différence de potentiel étant compensée par l'accroissement d'intensité de la décharge. La différence de potentiel maxima pendant une période du transformateur est égale à 1285 volts quand commence la décharge par convection et à 1491 volts quand la décharge devient lumineuse. Cette différence de potentiel correspondant à la décharge lumineuse paraît être la même pour les courants continus et les courants alternatifs, contrairement à l'opinion de M. Jaumann.

Si on excite le tube par un courant alternatif de haute fréquence (courant de Tesla), les électrodes s'entourent d'abord d'un nuage de lumière pâle, dont l'épaisseur augmente avec la différence de potentiel : ces nuages prennent progressivement la forme de deux cônes, tournant leurs sommets l'un vers l'autre et la lumière remplit finalement tout le tube.

En intercalant une résistance en eau devant une des électrodes, on affaiblit ou supprime le nuage autour de cette électrode, l'autre nuage ne change pas : cette expérience montre nettement que la décharge se produit entre les électrodes et les parois du tube.

3. *Retard de la décharge dans les tubes vides.* En mettant un tube de Geissler entre les pôles d'un électro-aimant puissant dans la position équatoriale, on arrête la décharge quand le champ magnétique est devenu suffisamment intense. Si on supprime le champ magnétique, la décharge ne recommence pas immédiatement bien que la différence de potentiel entre les électrodes soit restée ce qu'elle était avant l'établissement du champ, et on peut porter la différence de potentiel jusqu'au double de cette valeur sans que la décharge reprenne. Mais elle se produit aussitôt qu'on décharge une bouteille de Leyde dans le voisinage du tube : parfois elle se

produit spontanément au bout d'un temps plus ou moins long : cela tient à ce que le champ magnétique attire la décharge sur les parois du tube qui s'électrisent fortement : le courant commence à passer après que cette électrisation s'est dissipée. Le phénomène de retard n'a pas lieu quand le tube est excité par des courants à haute fréquence.

4. *Retard de la décharge dans l'air libre.* Cependant l'électrisation du tube n'est pas la cause unique du retard à la décharge qui se produit également dans l'air libre : comme l'ont constaté Faraday, Warburg et plus récemment Jaumann : il est probable que l'état des surfaces métalliques joue un rôle important dans ces phénomènes.

5. Si l'on remplace l'une des électrodes par une tige de bouteille de Leyde dont l'armature extérieure est tournée vers l'autre électrode et reliée au sol, la lueur négative contourne cette armature et va de l'électrode à la tige de la bouteille.

Dans le cas des courants à haute fréquence, la lueur négative se forme alternativement aux deux électrodes et, à cause de la rapidité des alternances, les couches d'air électrisé n'ont pas le temps de s'éloigner : la décharge positive, issue de l'anode, n'influera pas sensiblement sur l'ensemble et on verra aux deux électrodes les étincelles ou l'arc empiéter sur les lueurs. L'arc contournera aussi la gaîne d'air positive qui entoure la cathode, même quand la lueur n'existe pas. Si par exemple, la cathode a la forme d'un hémisphère creux, dans lequel pénètre jusqu'à 1 mm du fond une anode en charbon, la décharge ne va pas directement de l'extrémité de l'anode à la surface cathodique voisine, mais contourne l'hémisphère.

6. *Soupapes électriques et décharge unilatérale.* Si on emploie le précédent dispositif avec une source à courants alternatifs, on remarque que les décharges se produisent seulement dans le sens tel que l'hémisphère forme la cathode.

7. Si on approche l'anode assez près de la cathode pour qu'elle pénètre dans l'espace obscur, sa surface reste obscure et aucun courant ne passe. Cette circonstance s'explique encore par la présence de la couche d'air électrisée positivement qui entoure l'espace obscur.

8. *Epaisseur de l'espace cathodique obscur.* En admettant que l'épaisseur de l'espace cathodique obscur réponde à celle de l'air électrisé, on doit s'attendre à ce qu'elle varie : elle sera plus petite là où la couche d'air se forme le plus difficilement, c'est à dire dans les régions où avant la décharge les lignes de force sont peu denses, plus grande au contraire là où les lignes de force sont nombreuses. L'expérience confirme cette prévision lorsque la cathode présente des angles rentrants, la lueur bleue pénètre dans ces angles et réduit l'épaisseur de l'espace obscur. Dans l'intérieur d'une cathode tubulaire, l'espace obscur a une épaisseur si faible que presque toutes les lignes de courant se rassemblent dans le tube et que celui-ci paraît entièrement rempli de lumière positive rouge.

Souvent l'espace cathodique obscur affecte une forme irrégulière, surtout quand la direction de la décharge n'est pas symétrique par rapport à la surface de la cathode. L'épaisseur de cet espace dépend bien des propriétés du gaz et non de phénomènes invisibles se passant dans l'éther, car elle est en relation étroite avec la pression du gaz et la chute de potentiel à travers cet espace est caractéristique de la nature chimique du gaz.

9. *Influence des courants gazeux.* Toutes les vitesses qu'on peut imprimer mécaniquement à un courant gazeux sont toujours fort petites vis à vis de la vitesse avec laquelle se reforment les couches d'air électrisé ; aussi un courant gazeux soufflé sur les électrodes ne change pas beaucoup les phénomènes ; il fait seulement varier le chemin suivi par la décharge en déplaçant l'air échauffé au voisinage de la cathode et qui était ainsi devenu plus conducteur.

10. Pour la raison indiquée dans le paragraphe un changement continu de la surface de la cathode n'exerce non plus aucune

influence, on réalise ces conditions en prenant comme cathode une veine de mercure, la décharge se dirige de préférence vers le point où le mercure se renouvelle, parce que le métal y est toujours plus pur.

IV. — *Existe-t-il des décharges continues.* — D'après les idées de Faraday que nous avons rapportées plus haut, la décharge ne peut être continue. Cette manière de voir est d'accord avec ces deux faits : 1° que la différence de potentiel entre les électrodes n'augmente pas avec l'intensité du courant conformément à la loi d'Ohm, mais reste constante; c'est seulement le nombre des décharges partielles qui augmente;

2° Que la chaleur dégagée par le courant est proportionnelle à l'intensité et non au carré. Si on fait passer le courant d'une batterie d'accumulateurs à haute tension dans un tube de Geissler, muni de larges électrodes extérieures, la décharges est toujours discontinue, en chauffant le verre, on le rend plus conducteur et les décharges se succèdent trop rapidement pour qu'on puisse les distinguer à l'œil nu, mais on peut les observer dans un miroir tournant ou leur faire traverser un téléphone. On arrive au même résultat avec un tube à électrodes intérieures, en diminuant l'intensité du courant par l'interposition de fortes résistances.

Les grésillements qui se font entendre quand on relie à une pointe l'armature d'une bouteille de Leyde fortement chargée attestent des décharges intermittentes sous forme d'aigrette.

M. Lehmann a aussi répété les expériences de Hittorf et de Hertz, dans lesquelles ces physiciens voulaient établir la continuité de la décharge en prouvant que les phénomènes ne changent pas si on relie les électrodes aux armatures d'un condensateur. Il a trouvé que l'effet du condensateur sur la décharge varie avec la capacité et avec l'intensité du courant. Pour les capacités et les intensités faibles, l'influence du condensateur est nulle. Pour des capacités plus fortes, la lueur disparaît et fait place à des étincelles rouges, brillantes, terminées par des panaches de vapeurs métalliques vertes : elles se succèdent de plus en plus rapidement quand la résistance diminue jusqu'à prendre l'aspect d'un arc continu. Avec d'autres valeurs de la capacité, on obtient des étincelles pâles se succédant à d'assez longs intervalles et qui disparaissent si l'intensité devient très faible, auquel cas persiste seulement une lueur qui paraît continue. Mais la différence de potentiel entre les électrodes reste constante malgré les étincelles; l'intermittence des décharges n'est donc pas due à la charge progressive du condensateur et à sa décharge quand il a atteint une certaine différence de potentiel. Même lorsque des tubes de Geissler sont excités par le courant d'une pile la décharge est intermittente. Dans ces tubes il se produit une lueur qui le remplit peu à peu, jusqu'à ce que les électrodes paraissent réunies par une ligne lumineuse continue, puis brusquement on observe une décharge brillante à travers toute la longueur du tube, après quoi les phénomènes se répètent. L'ensemble des observations paraît indiquer que les décharges par étincelles ou par arc lumineux exigent qu'une électrode soit assez échauffée en un point pour donner naissance à des vapeurs métalliques.

V. — *Lignes de courant.* — M. Lehmann attribue les rayons cathodiques aux décharges qui se produisent entre la cathode et la paroi de verre. On a objecté qu'on augmente l'intensité des phénomènes lumineux en un point de la paroi si on relie ce point au sol, tandis que cette disposition n'apporte aucun changement dans la décharge des batteries. Cette objection n'est pas fondée, car on peut réaliser une expérience dans laquelle pendant la décharge d'une batterie des courants circulent entre les électrodes et la paroi de verre. Les électrodes sont en forme de plateaux et recouvertes d'un gobelet de verre renversé, dont le fond se trouve très près du plateau supérieur; si ce plateau est la cathode, l'espace obscur ne peut se développer; une masse de lumière bleuâtre part de la face inférieure de l'anode,

contourne le bord du gobelet remonte ensuite pour venir se terminer sur le fond vis à vis de la cathode; ce phénomène serait difficile à expliquer si on admet la propagation rectiligne des rayons cathodiques. Lorsque le plateau supérieur est l'anode, la lumière bleuâtre reste enfermée sous le gobelet : de petites colonnes de lumière positive se montrent entre le bord des plateaux et le fond du gobelet, attestant que la décharge se fait entre l'anode et le verre. En déviant les rayons cathodiques par un champ magnétique, on arrive à faire se croiser les lignes de courant ce qui serait impossible si le courant était continu.

Si la cathode est enveloppée d'une anode en toile métallique, les rayons cathodiques paraissent sortir de toutes les ouvertures de la toile. Si on renverse les pôles, l'air électrisé positivement ne peut que difficilement traverser la toile : aussi la paroi de verre reste obscure.

Dans le premier cas, si on place sur le récipient le pôle d'un aimant, tous les rayons sortant de la toile s'éteignent, sauf ceux dont la direction coïncide avec celle des lignes de force magnétique, qui deviennent plus brillants ; dans le second cas, on aperçoit à l'intérieur de la toile un anneau bleu normal aux lignes de force.

Une cathode cylindrique faite d'une feuille de cuivre dans laquelle sont percées des ouvertures de différentes grandeurs se recouvre sur ses deux faces d'une lueur bleuâtre, qui contourne le bord des ouvertures : au centre des ouvertures les plus petites se montre des strates lumineuses rougeâtres qui se prolongent sous forme d'un étroit pinceau qui peut s'étendre jusqu'à la paroi.

Un autre fait montre encore que les rayons cathodiques sont en même temps les lignes de courant : c'est que la substance de la cathode se trouve transportée sur la paroi là où elle est rencontrée par les lueurs. La fluorescence verte n'est pas une caractéristique des rayons cathodiques, mais seulement d'une succession rapide de charges et de décharges et est produite aussi par la lumière positive dont l'intensité est suffisante.

VI. — *Ombre électrique sur la lumière positive.* — Quand la cathode est formée d'une tige et l'anode d'un hémisphère (voir ci-dessus) et qu'on suspend entre les deux un morceau de tôle, cette tôle projette une ombre nette sur la lueur rouge qui recouvre l'hémisphère : si on renverse le courant, l'ombre se projette sur la tige, mais moins nette.

D'après M. Lehmann, cette ombre se produit parce que la feuille de tôle empêche l'air électrisé positivement de se porter vers l'anode et le contour de l'ombre est dessiné par les lignes de courant.

VII. — *Nature probable de la décharge.* — En résumé, il est probable qu'il se produit entre la surface des électrodes une décharge invisible, grâce à laquelle la cathode s'entoure d'une gaîne d'air électrisé positivement et la décharge proprement dite a lieu quand la chute de potentiel dans cette couche d'air atteint une certaine valeur limite. Il en résulte une espèce d'onde électrique négative qui, en arrivant à l'anode, décharge celle-ci en donnant naissance à la lueur positive, cette décharge reproduit la gaîne positive autour de la cathode et ainsi de suite. Les strates de lumière positive dépendent de la cathode, puisqu'elles se déplacent avec elles, tandis qu'elles ne varient pas avec la position de l'anode. Elles sont dues vraisemblablement à des interruptions dans la décharge (Voir *Écl. Élect.* t. V, p. 414 et 462). La décharge serait donc *toujours* intermittente.

D'après une expérience de J. J. Thomson la vitesse de propagation de la décharge entre l'anode et la cathode serait environ de 150 000 m par seconde.

Dans un tube de 1 m de longueur il pourrait y avoir 75 000 décharges partielles par seconde : elles provoqueraient un son qui ne serait plus perceptible à cause de son acuité. Or, dans un vase où le vide est poussé très loin les décharges produisent un son très aigu, quoique nettement perceptible, il faut qu'elles se succèdent à des intervalles plus éloignés.

Le nombre des molécules qui participent

à la décharge est très petit vis-à-vis du nombre total (E. Wiedemann). Comme la chaleur dégagée porte la masse du gaz à une température moyenne de 100°, il faut que la température des molécules actives soit extraordinairement élevée. Cependant les combinaisons chimiques n'émettent pas dans ces conditions le spectre de leurs éléments. Cela tient sans doute à la durée excessivement courte des décharges partielles ; les atomes n'ont pas le temps de s'éloigner notablement l'un de l'autre et continuent à s'influencer comme s'ils étaient combinés.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages reçus

Les applications mécaniques de l'énergie électrique, t. II, par J. LAFFARGUE. Un vol. in-8 de 400 pages avec gravures dans le texte et 60 planches hors texte. Paris, 1896.— *J. Fritsch*, éditeur. Prix 10 fr.

Repart of S. P. Langley, secretary of the Smithsonian Institution for the year ending June 30 1895. Un vol-in 8° de 86 pages. Washington. *Government Printing office*, 1896.

L'acétylène par J. REYVAL, ingénieur électricien. Un vol-in 8° de 76 pages avec 15 figures dans le texte. Paris *Alcan-Lévy*, éditeurs, 1896. Prix 2 fr avec une boîte de carbure de calcium.

CORRESPONDANCE

Monsieur le Directeur,

Permettez-moi de faire une petite rectification à l'extrait qu'à publié notre excellent journal (n° du 9 mai 1896, p. 280), d'un article de M. Ricardo Arno, sur une modification à la méthode électrométrique de Mascart. Cette modification n'est pas nouvelle, comme le croit notre distingué confrère ; car je l'ai décrite avec détails dans la Lumière Electrique (t. XLI, p. 404, fig. 4, 29 août 1891).

Veuillez agréer etc...

A. BLONDEL.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Berlin. — Traction. — On vient de procéder dans cette ville aux premiers essais des tramways électriques sur la nouvelle ligne prolongée de Treptow au Jardin Zoologique. Ces essais qui ont eu lieu en présence du directeur de Grossen Berliner Pferdebahn-Gesellschaft ont donné d'excellents résultats. Les moteurs ont fonctionné avec une régularité parfaite, sous la tension de 300 volts, au lieu de celle de 500 employée sur la plupart des autres lignes. La vitesse imprimée aux voitures était d'environ 15 kilomètres à l'heure même dans les rues présentant les courbes les plus brusques. Les plates-formes des voitures ont une disposition qui rend facile la montée et la descente des voyageurs. Chaque voiture contient 20 sièges à l'intérieur et 14 places sur les plates-formes. Cinq lampes à incandescence de 16 bougies, alimentées par le réseau, sont réparties convenablement et assurent un éclairage parfait, tant pour l'intérieur des voitures que pour l'extérieur.

On vient de soumettre à la députation municipale des transports de Berlin un appareil marqueur destiné à enregistrer les sièges occupés des voitures de tramway.

Les voitures seraient alors munies de sièges séparés, qui, aussitôt occupés, feraient fonctionner l'appareil dont les indications pourraient être vues de l'extérieur. Les plans et descriptions de cet appareil vont être soumis à une délégation compétente, chargée d'en faire l'étude d'application pratique.

Bristol. — Traction. — Cette ville, dont nous signalions récemment (*Éclairage Élect.*, t. VII, p. 283, 9 mai 1896) les progrès rapides relativement à l'éclairage électrique, va voir aussi le nombre de ses lignes de tramways électriques augmenté d'une façon considérable. Une société se propose d'établir, moyennant une somme de 1 875 000 fr, une station centrale pouvant pourvoir aux besoins de l'éclairage et disposer de 1 000 chevaux pour la traction.

Budapest (Hongrie). — Traction. — La traction électrique paraît être destinée, dans un avenir prochain, à remplacer la traction animale sur tous les réseaux de cette ville. La ligne de banlieue Budapest-Raskopalota vient d'être mise en exploi-

tation, immédiatement après les épreuves de la Commission de réception. Les travaux d'établissement de cette nouvelle ligne ont duré 5 mois seulement.

On a dû construire un viaduc de 105 m de long au-dessus des lignes de chemins de fer de la ville et une construction métallique longue de 307 m pour racheter une forte différence de niveau du terrain ; les plus fortes rampes ne sont plus actuellement que de 35 pour 100.

La Compagnie du funiculaire de Budapest à Svabhegy est sur le point de remplacer la vapeur par l'énergie électrique comme force motrice. Le projet a été soumis au Conseil Municipal de la ville, lequel a apporté quelques modifications concernant les dispositions particulières à prendre pour le tunnel de l'aile nord de Hofburg, et dans l'installation des machines destinées à alimenter le réseau.

Londres. — Traction. — La question de la substitution générale de la traction électrique à la traction animale sur les lignes de tramways dont nous avons parlé récemment (*Éclairage Élect.*, t. VII, 25 avril et 9 mai 1896), parait se présenter sous un jour favorable. Nous apprenons, en effet, que différents districts de la ville ont dejà adopté la substitution proposée et que 6 sections du réseau général possèderont les tramways électriques sous peu, les travaux devant commencer dans les premiers jours de juillet pour être terminés en octobre 1897.

Londres. — Éclairage. — La banlieue nord de Londres généralise de plus en plus l'emploi de la lumière électrique ; quatre des principaux districts St-Pancras, Hampstead, Shoreditch et Islington ont procédé à des installations municipales sans l'intervention de compagnies privées.

La première installation terminée est celle d'Islington ; l'inauguration vient d'avoir lieu avec le cérémonial accoutumé. Cette station est située près de la gare de la Great Northern Railway C°, et possède 4 moteurs de 250 chevaux actionnant 5 alternateurs-volants, type Ferranti, dont 4 alimentent le réseau de distribution et le cinquième sert de réserve. Chacun des alternateurs porte 64 électros-inducteurs et fait environ 95 tours par minute.

Le courant est produit à la tension de 2 050 volts et est transformé à 100 volts pour l'utilisation. Le système de distribution adopté est celui à deux fils. Les circuits à haute tension qui alimentent les lampes à arc sont placés dans des tuyaux en fonte avec emboîtements.

Mexico (Mexique). — Traction. — Le représentant d'un syndicat anglais vient de faire l'acquisition du réseau total de tramways pour une somme 37 500 000 fr. La nouvelle Compagnie a déjà pris possession du réseau et a commencé les premiers travaux de transformation. La traction électrique remplacera la traction animale sur toutes les lignes en général. La somme nécessaire à l'exécution de ces travaux y compris la création de nouvelles lignes s'élève à 62 500 000.

Merselurg (Allemagne). — Traction. — Le *Saak Zeitung* annonce qu'un ingénieur vient de déposer un projet de tramways à traction électrique destiné à relier Merselurg à Leipzig. Cette ligne nécessiterait pour son installation environ 37 000 marks (40 700 fr.) et desservirait les nombreuses localités situées sur son parcours. Aussi aura-t-on recours avant l'adoption du projet en question à un vote général d'adhésion et de participation dans les frais d'installation dans des mesures proportionnelles à l'importance des localités desservies.

Nürnberg-Fürth (Allemagne). — Traction. — Les premiers travaux d'installation d'une ligne de tramways à traction électrique ont été commencés le 2 mai dernier. La longueur totale de la ligne sera de 12,37 km. Les voitures auront une vitesse moyenne de 12 km a l'heure et se suivront à cinq minutes d intervalle.

Le courant sera distribué sur la ligne par des conducteurs aériens situés à une hauteur de 3,75 m au dessus de la voie.

La station centrale alimentant le réseau est déjà presqu'achevée et comprend 3 machines compound actionnant 3 dynamos dont la production totale d'énergie est de 432 kilowatts.

La ligne sera desservie par 25 voitures motrices pouvant contenir chacune 34 voyageurs et possédant chacune deux moteurs de 25 chevaux et 6 autres voitures de 28 voyageurs à un seul moteur de 25 chevaux.

Oakland. (Californie). — Traction. — D'un commun accord avec différentes Compagnies d'électricité de cette ville, la Compagnie des chemins de fer de Californie a décidé d'appliquer la traction électrique en remplacement de la vapeur

sur sa ligne de Fruitvale à Laundry Farm. Le nouveau câble devant assurer la distribution du courant sur cette ligne et sur d'autres avoisinant Oakland est en voie de pose. Ce câble circulaire est d'une longueur de 536 kilomètres. D'autres lignes à traction électriques en construction seront également reliées à ce circuit de distribution général.

Riverside. (Californie). — Éclairage. — La municipalité de Riverside vient de passer un contrat avec les représentants d'un syndicat anglais pour l'installation d'un transport d'énergie électrique destinée à l'éclairage de la ville.

Le courant nécessaire sera fourni par la station centrale de la Redlands Electric Light and Power Compagny située à Mill Creek (distant de Riverside d'environ 40 km). L'installation de transport d'énergie dont il s'agit consiste en premier lieu en une station de transformation située près de l'usine génératrice, laquelle reçoit de cette dernière du courant triphasé à la tension de 2 500 volts et l'élève à 11 000 au moyen d'une série de transformateurs Wagner, de 100 kilowatts chacun.

Ces transformateurs sont isolés à l'huile et logés dans une enveloppe en fonte parcourue intérieurement par un serpentin dans lequel circule un courant d'eau froide, cette disposition a pour but de refroidir les appareils dans une proportion équivalente à 20 pour 100 de la température extérieure. En sortant des transformateurs à la tension de 11 000 volts, le courant est transmis par 4 câbles aériens placés sur des poteaux distants d'environ 1 800 m les uns des autres, à une seconde station de transformation située aux abords de la ville; là la tension est ramenée à 2000 volts dans les circuits principaux d'alimentation pour être une troisième fois transformée soit en courant à 100 volts pour l'éclairage à incandescence, soit en courant à 50 volts pour l'éclairage à arc.

White-River. (New-Jersey). — Transport de force. — Un importante installation de transport d'énergie est sur le point d'être construite à White-River. L'énergie transportée sera de 75 000 chevaux. Il s'est déjà formé à cet effet une compagnie avec un premier capital de 50 millions de francs, qui va commencer ces opérations par le transport de 25 000 chevaux à Tahoma et Scattle, villes éloignées de 25 kilomètres l'une de l'autre.

Cette installation lorsqu'elle sera complète, dépassera en importance celle du Niagara, qui ne peut disposer sur le territoire américain que de 50 000 chevaux.

DIVERS

L'éclairage électrique au Brésil. — Le correspondant du British Trade Journal écrit que le Brésil offre en ce moment un grand champ d'action pour les ingénieurs électriciens. Parmi les villes qui ont adopté l'éclairage électrique on peut citer : Sao Carlos do Pinhal, Casa Bianca, Jacarchy, Rio Claro, Santa Rita de Passa Quarto et Pétropolis. Cinq autres villes ont déjà commencé les travaux d'installation.

Le câble télégraphique de l'Amazone. — La Société des Télégraphes de l'Amazone a fait procéder depuis quelques temps déjà à de sérieuses études sur le sol de ce fleuve rapide dans le but d'installer un câble sous-fluvial. Le câble dont il est question aura une longueur de 2 050 kilomètres partant de Para pour aboutir à Manaos au confluent du Rio Negro. La même Société se propose également de prolonger ce câble, de Manaos à Tabatinga, dans le Pérou et même jusqu'à Barranca.

Réchaud électrique pour puits à pétrole. — Parmi les nombreuses applications de l'électricité au chauffage, nous signalons à nos lecteurs un nouvel appareil conçu par un électricien de Pittsburg.

Cet appareil est destiné à *rafraîchir* les puits à pétrole en vue d'en activer le débit lorsqu'il faiblit. Ce résultat s'obtenait alors par l'explosion d'une charge de dynamite.

Dans certains puits où l'huile paraît s'épuiser l'action est due à une couche d'asphalte qui obstrue les différentes sources. Or, l'appareil dont nous parlons est descendu au fond du puits et chauffé par un courant convenable. La chaleur développée fond les dépôts obstructeurs et le débit des sources reprend son cours.

Le système international d'unités électriques en France. — Dans notre précédent numéro, nous annoncions (p. 335) la promulgation d'un décret rendant obligatoire dans les services publics français l'emploi des unités électriques dites « unités internationales » adoptées par le Congrès de Chicago en 1893 :

Voici le texte de ce décret :

Article premier. — Dans tous les marchés et contrats passés pour le compte de l'Etat, dans toutes les communications faites aux services publics et dans les cahiers des charges dressés par eux, le système international d'unités électriques, tel quel est défini ci-après, sera seul et obligatoirement employé.

Art. 2. — L'unité électrique de résistance, ou ohm, est la résistance offerte à un courant invariable par une colonne de mercure à la température de la glace fondante, ayant une masse de 14,4521 gr, une section constante et une longueur de 106,3 cm.

Art. 3. — L'unité électrique d'intensité ou ampère, est le dixième de l'unité électromagnétique de courant. Elle est suffisamment représentée pour les besoins de la pratique par le courant invariable qui dépose en une seconde 0,001118 gr d'argent.

Art. 4. — L'unité de force électromotrice ou volt, est la force électromotrice qui soutient le courant d'un ampère dans un conducteur dont la résistance est un ohm. Elle est suffisamment bien représentée pour les besoins de la pratique par les 0,6974 ou les $\frac{1000}{1434}$ de la force électromotrice d'un élément Latimer Clark.

Art. 5. — Le Ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes est chargé de l'exécution du présent décret qui sera inséré au « Bulletin des Lois » et au « Journal Officiel ».

A ce décret est annexé un rapport de M. J. Violle où se trouvent définies les unités suivantes:

Le coulomb est la quantité d'électricité transportée en une seconde par un courant d'un ampère.

Le farad est la capacité d'un condensateur chargé au potentiel d'un volt par un coulomb.

L'henry est l'induction dans un circuit où la force électromotrice est un volt quand le courant inducteur varie à raison d'un ampère par seconde.

Le joule est égal à 10^7 unités C. G. S. de travail. Il est suffisamment représenté, pour les besoins de la pratique, par l'énergie dépensée en une seconde par un ampère dans un ohm.

Le watt est égal à 10^7 unités C. G. S. de puissance. Il est suffisamment représenté pour les besoins de la pratique par la puissance d'un joule par seconde.

L'unité de lumière est la quantité de lumière émise en direction normale par 1 cm^2 de surface de platine fondu à la température de solidification.

Dans ce rapport, se trouvent également les règles pour la définition pratique de l'ampère, regles que nos lecteurs trouveront dans l'*Éclairage Électrique* du 26 janvier 1895 (t. II, p. 181), et une Note sur la préparation de l'élément Latimer Clark qui a été déjà publiée en partie dans la *Lumière Électrique* du 6 août 1892 (t. XLV, p. 291) et complétée dans le numéro de l'*Éclairage Électrique* précédemment cité, au moment de l'adoption des unités internationales par le gouvernement anglais.

Société d'encouragement pour l'industrie nationale. — Le dernier bulletin de cette Société contient la liste des nombreux prix mis au concours pour être décernés en 1897 et les années suivantes. Parmi ces prix nous relevons les suivants:

Prix de 2000 fr, pour un moteur d'un poids moins de 50 kg par cheval de puissance.

La puissance effective est mesurée au frein sur l'arbre de couche. Le poids est celui de l'appareil moteur complet, y compris, s'il y a lieu, la chaudière, les volants, la tuyauterie, les outils de service et autres accessoires, les approvisionnements pour une marche à pleine puissance pendant deux heures au moins, et les récipients contenant ces approvisionnements. Le moteur devra être produit tout prêt à fonctionner; il sera soumis à des essais sous le contrôle de la Société d'Encouragement; le fonctionnement devra être sûr et régulier. L'agent moteur pourra être quelconque: vapeur, gaz, électricité, etc.

Le prix sera décerné, s'il y a lieu, en 1897.

Prix de 2000 fr, pour une étude des coefficients nécessaires au calcul mécanique d'une machine aérienne.

Il s'agit de recherches ayant pour objet la détermination des réactions qui se produisent aux divers points d'une surface se mouvant dans l'air, dans les circonstances variées que peut offrir le problème de la navigation aérienne; les principales de ces circonstances sont: l'étendue de sa surface, sa nature, sa forme, sa vitesse, la nature de son mouvement, etc. L'étude aura un caractère essentiellement expérimental; les calculs théoriques ne seront pas exclus, mais en tant seulement qu'ils ne comporteront rien d'hypothétique.

Le prix sera delivré, s'il y a lieu, en 1897.

Prix de 2000 fr, pour un petit moteur destiné à un atelier de famille fonctionnant isolément ou rattaché à une usine centrale.

On a souvent signalé l'intérêt qu'il y aurait, pour le petit fabricant en chambre, à se procurer commodément et à bon marché, toutes les fois qu'il en aurait besoin, la petite quantité de travail pour laquelle il a ordinairement recours à l'assistance d'un tourneur de roue.

Un prix est proposé, dans ce but, pour un moteur à arbre rotatif, pouvant mettre à peu de frais, à la disposition de l'ouvrier en chambre, un travail de 6 à 20 kilogrammètres par seconde. Les dispositions proposés devront permettre de faire varier, entre ces limites, la puissance disponible, sans présenter de trop grands écarts dans le rendement ; et, s'il est possible, elles devront se prêter aux vitesses les plus convenables, suivant la nature de l'opération à effectuer.

La solution de cette question aurait pour conséquence de favoriser le travail en famille.

La Société a décerné quatre fois ce prix ; la première fois, à un moteur hydraulique utilisant l'eau des conduites d'une ville ; la deuxième, à un moteur à vapeur ; la troisième, à un moteur à gaz ; et la quatrième, à un système de transmission de force à domicile. Elle désirerait voir varier la forme et le mode d'action des moteurs qui peuvent recevoir des applications du même genre et elle a maintenu ce prix au concours pour 1897.

Prix de 2000 fr, pour perfectionnement aux machines outils. Les ateliers où l'on travaille le bois ou les métaux donnent souvent la préférence, pour l'installation ou le renouvellement de leur outillage, à des machines-outils de provenance étrangère ou d'invention étrangère.

Cependant l'esprit d'invention et l'ingéniosité mécanique ne manquent pas en France, et la construction y est, en général, consciencieuse et soignée. Le progrès des machines-outils devrait être plus rapide et plus marqué.

Pour favoriser ce progrès si désirable, la Société d'Encouragement propose un prix de 2000 fr.

Ce prix sera attribué à une machine-outil pour le travail du bois ou pour le travail des métaux, d'invention et de construction françaises et présentant quelque perfectionnement notable.

Cette machine devra être en service et fournir de bons résultats d'emploi.

Le prix sera décerné, s'il y a lieu, en 1897.

Prix de 3000 francs relatif à la fabrication des aimants permanents.

Les aimants permanents, en fournissant des champs magnétiques indépendants, gratuits et relativement puissants, sont susceptibles de rendre de grands services dans le domaine des applications électriques ; ils se prêtent notamment d'une manière fort avantageuse à la construction de toute une catégorie d'instruments de mesure et concourent ainsi efficacement à la solution des problèmes généraux.

Les qualités que l'on attend d'eux sont la force et la stabilité. Ces qualités sont évidemment liées à la nature du métal qui les constitue et au traitement que ce métal a pu subir.

Les études à faire sur la question peuvent donc porter, d'une part, sur la composition de l'acier à aimants et le rôle des éléments, autres que le fer, qui peuvent y être introduits, et, d'autre part, sur les procédés et températures de trempe, les recuits et opérations accessoires de nature à améliorer les résultats obtenus.

Le prix sera décerné en 1897 à l'auteur d'une méthode réalisant des perfectionnements importants sur les méthodes actuelles.

Exposition internationale de moteurs et de leurs applications.— Londres 1896. — Dans le but de permettre aux inventeurs et fabricants anglais et étrangers de moteurs et de véhicules automobiles de tous systèmes de faire apprécier leurs appareils, le Comité exécutif de l'Imperial Institute de Londres, d'accord avec le Motor Car Club, a organisé une exposition internationale de moteurs fixes et de voitures, vélocipèdes, etc., automobiles qui aura lieu dans le local de l'Imperial Institute pendant les mois de mai, juin et juillet et qui est ouverte depuis le 9 mai.

L'exposition comprend 15 groupes, parmi lesquels nous signalerons :

I. Voitures automobiles pour le transport des personnes et fonctionnant au moyen de la vapeur de l'électricité, du pétrole, de l'air comprimé et de ressorts.

II. Idem pour les marchandises.

III. Charrues et autres appareils agricoles automoteurs.

IV. Vélocipèdes automoteurs.

XI. Yachts, chaloupes et barquettes mus au moyen de la vapeur, du pétrole, de l'électricité ou de l'air comprimé.

XIV. Machines, dynamos et moteurs fixes.

XV. Modèles d'inventions, fonctionnant ou non, et se rapportant aux appareils admis à l'exposition.

Des expériences comparatives des divers systè-

mes de voitures automobiles auront lieu tous les jours dans les jardins de l'Institut.

Congrès international de chimie appliquée. — Au premier Congrès international de chimie appliquée, qui a eu lieu à Bruxelles et à Anvers du 4 au 11 août 1894, il a été décidé qu'un deuxième congrès aurait lieu à Paris en 1896. Celui-ci se tiendra dans les derniers jours de juillet ou dans les premiers d'août.

Chacune des dix sections que comprend ce congrès a arrêté provisoirement les questions qui seront discutées. La section X, consacrée à l'électrochimie sera présidée par M. Moissan, membre de l'Institut, et a pour secrétaire M. Gosselin, chef des travaux électriques à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures; elle a mis à l'étude les questions suivantes :

1° Étude des lois électrolytiques, détermination des constantes. Résistance des électrolytes dissous et fondus. Coefficients de variation en fonction de la température. Force électromotrice de polarisation. Densité de courant aux électrodes, etc.

2° Application de l'électrolyse à l'analyse chimique.

3° *a.* Les Diélectriques. Traitement et préparation des substances isolantes. Succédanés de la gutta-percha et du caoutchouc, etc.

b. Les Alliages. Propriétés électriques. Résistance. Coefficients de température, etc.

4° Application de l'électrolyse aux industries de la soude. Chlorate de potasse. Soude. Chlore, etc.

5° Application de l'électrolyse au traitement des matières organiques. Rectification des alcools. Purification des jus sucrés. Stérilisation et purification des eaux par l'électricité. Synthèses organiques, etc.

6° Électrolyse des métaux par voie humide. Affinage des métaux. Galvanoplastie, etc.

7° Électrolyse des métaux par fusion ignée. Électro-métallurgie du sodium, du magnésium, du silicium, du lithium, etc.

8° Four électrique et applications. Carborindon. Carbure de calcium. Borure de silicium. Titane, etc.

9° Procédés électro-thermiques. Soudure. Chauffage électrique, etc.

Parmi les questions mises à l'étude par les autres sections, nous signalerons comme intéressant les électriciens :

Analyse des caoutchoucs et de la gutta percha.

Application de l'électrochimie à la fabrication des produits chimiques,

questions qui seront discutées devant la section VI (industries chimiques, etc.,) présidée par M. Sorel, et

Electrométallurgie,

mise à l'étude par la section VIII (métallurgie, mines, explosifs) présidée par M. Ad. Carnot.

Une application nouvelle du chauffage électrique. — Certains effets de moiré et de gaufré s'obtiennent en soumettant les tissus à la pression de la presse hydraulique en même temps qu'à l'action de la chaleur. Dans ce but, les tissus sont empilés entre des plaques métalliques chaudes sur le plateau d'une presse ; quelques coups de piston terminent l'opération et donnent le résultat requis.

En rappelant ce procédé, l'*Industrie textile* en signale les inconvénients. L'un des plus importants est que pendant le travail les plateaux se refroidissent inégalement, d'où résulte une action calorifique peu régulière. Pour y obvier l'emploi de l'électricité comme mode de chauffage était tout indiqué.

Le courant provenant d'une machine dynamo arrive, tout d'abord, à un distributeur ou commutateur multiple, d'où il est ensuite dirigé sur les divers plateaux de la presse. Chacun de ces plateaux est creux et contient des fils disposés en spirale dont la résistance, comme dans les radiateurs ordinaires, produit l'effet calorique requis. On peut ainsi, non seulement maintenir tous les plateaux à une température déterminée, mais encore chauffer plus activement tel ou tel d'entre eux avec une précision calorifique exacte que l'on désire pour que tous les produits élaborés soient identiques.

Dans ces conditions, le prix de revient élevé de la calorie électrique passe naturellement en second lieu, car il s'agit d'étoffes de luxe dont l'imperfection constitue avant tout un déchet industriel onéreux.

Cette disposition vient d'être réalisée à Chemnitz (Saxe) et semble donner d'excellents résultats.

Les poteaux télégraphiques. — S'il faut en croire l'*Elektrotechnischer Anzeiger*, la valeur des poteaux télégraphiques dans l'Europe Continentale seulement dépasserait 250 000 000 francs et les dé-

penses entraînées par leur entretien s'élèveraient à 25 000 000 francs. Tout perfectionnement tendant à augmenter la durée des poteaux présenterait donc une importance considérable au point de vue pratique.

La téléphonie en Danemarck. — La Compagnie des Téléphones de Copenhague compte 4 196 abonnés reliés directement à un seul bureau central ; l'augmentation du nombre d'abonnés pendant l'année 1895 a été de 637 ; elle avait été de 556 en 1894 ; ce bureau est également relié directement avec 1 151 abonnés de province, ce qui porte le total des lignes qu'il dessert directement à 5 347. L'île de Seeland dont Copenhague est le chef-lieu avec une population de 850 000 habitants environ comprend 6 624 abonnés, soit environ 1 abonné sur 130 habitants. Le service est très actif ; en 1895, plus de 15 200 000 convervations téléphoniques ont été échangées ; c'est une augmentation de 50 pour 100 sur le service de l'année précédente ; le prix des conversations est très bas ; il revient aux abonnés à environ 3 ou 4 ores (15 à 20 centimes) par conversation, ce qui a permis néanmoins à la Compagnie de distribuer un dividende de 7 pour 100, tout en portant une somme considérable à la réserve.

Éclairage électrique par diffusion du plafond. — On vient de faire une intéressante expérience d'éclairage électrique à incandescence avec diffusion par les plafonds dans les vastes locaux de la Union Bank of Australia, à Cornhill.

M. Cuthbert, l'architecte, a fait disposer sous le plafond du grand hall 24 supports à lampes convenablement espacés. Chacun de ces supports a la forme d'une calotte de bronze étamée intérieurement et contient trois lampes à incandescence de 25 bougies, dont la lumière est envoyée au plafond et diffusée de là dans la salle d'une façon si parfaite qu'il est impossible d'apercevoir l'ombre d'une plume tenue au-dessus d'une feuille de papier.

Comme ces lampes ne sont pas directement visibles, l'œil ne peut en être affecté d'une façon quelconque

Ce système d'éclairage était déjà employé dans cette contrée (avec des lampes à arc) dans différents magasins et ateliers et certains de nos lecteurs se souviennent en avoir vu un exemple à l'Exposition d'électricité de 1881. Toutefois l'expérience en question est une des premières de la sorte où les lampes à incandescence aient été employées.

La perte de lumière par ce procédé d'éclairage n'est pas si considérable qu'on pourrait le supposer. M.H. Harrison, l'électricien de la banque, a pu déterminer par l'expérience que la perte de lumière ne dépasserait pas, par cette méthode, 20 pour 100 de la lumière émise ; le pouvoir réfléchissant d'un plafond bien blanchi est considérable et la diffusion est excellente ; en outre la pupille de l'œil est plus dilatée de sorte que l'illumination apparente est bien meilleure.

Les couloirs de la banque possèdent aussi ce genre d'éclairage ; pour cette application la partie inférieure des globes de verre a été argentée de façon que la lumière soit d'abord réfléchie vers le plafond et ensuite diffusée.

L'effet général est considéré comme présentant une notable amélioration sur celui que donne l'emploi des globes diffuseurs.

L'électro-aimant en chirurgie. — D'après l'*Electrical Review*, de New-York, une aiguille brisée à l'intérieur de la main d'une ouvrière aurait été retirée dernièrement sans opération au moyen d'un puissant électro-aimant qui aurait été improvisé dans l'usine d'éclairage électrique de Cherryfield (Me).

Transmission électrique de Niagara à New-York. — Une exposition d'électricité va bientôt s'ouvrir à New-York. Un modèle des installations de Niagara y sera exposé ; ce modèle, qui a 3,65 × 1,25 m est un chef-d'œuvre d'exécution, chaque partie pouvant fonctionner comme dans l'installation réelle. Comme la puissance nécessaire pour mettre ce modèle en marche est très faible, MM. T. C. Martin et Stillwell, ont pensé à utiliser dans ce but une partie de la puissance engendrée à Niagara. La Compagnie des télégraphes Western Union Company prêterait deux de ses lignes en bronze pendant quelques heures par jour et la Westinghouse Electric Company prêterait les appareils Tesla nécessaires pour réaliser cette curieuse expérience. En outre, des téléphones permettraient d'entendre le bruit de la chute à New-York. M. Stillwell se propose aussi de charger des condensateurs par le courant de Niagara et de transmettre ensuite des dépêches en Europe avec ces condensateurs.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. Maucuausrat, 32 Boulevard de Vaugirard

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

L'ÉLECTRICITÉ A L'EXPOSITION NATIONALE SUISSE

LE TRANSPORT DE FORCE CHÈVRES-GENÈVE

Quelques jours avant l'ouverture de l'Exposition nationale Suisse, l'on fêtait, à Genève, l'inauguration de la nouvelle usine de Chèvres et du transport d'énergie électrique qu'elle alimente (1).

Certes, ce ne sont pas les difficultés qui ont manqué à cette entreprise et l'on doit rendre hommage à l'initiative et à l'activité des hommes qui ont mené à bien la première partie de cette grande œuvre qui doit doter la ville de Genève d'une force de 12 à 15 000 chevaux. Grâce à l'énergie de M. l'ingénieur Turettini, à la fois président de l'Exposition et président du Conseil administratif, et à l'activité de son premier ingénieur M. Butticaz, les travaux ont pû être terminés en temps opportun et il a été possible de subvenir au surcroît énorme de force exigé par l'Exposition nationale, l'éclairage des principales rues de la ville et l'exploitation électrique de nouvelles lignes de tramways.

Le transport de force Chèvres-Genève constitue certainement, au point de vue électrique, la principale attraction de l'Exposition nationale. Il comprend en effet une distribution simultanée de force et de lumière assez importante et, pour en donner au lecteur une idée complète, nous suivrons dans leurs principaux traits les diverses parties de ces nouvelles installations.

(1) Voir l'*Éclairage Électrique*, 25 janvier 1896.

L'USINE HYDRAULIQUE

L'usine hydraulique dont nous donnons une vue d'ensemble pendant la construction du bâtardeau (fig. 1), est placée à 7 kilomètres en aval de l'usine de la Coulouvrenière, connue déjà des lecteurs de ce journal.

Le choix de cet emplacement a nécessité naturellement de longues études. On sait, en effet, que le Rhône, à sa sortie du lac Léman, reçoit l'Arve qui vient directement des Alpes de la Savoie et charrie une grande quantité de gravier.

De plus, son débit est fort irrégulier suivant les saisons ; il est sujet à des crues subites qui le font varier dans des proportions énormes. Tandis que le Rhône débite de 100 à 120 m³ à la seconde en hiver et 700 m³ au maximum en été, l'Arve est tombée à 17 m³ en hiver tandis qu'après une forte crue son débit s'est élevé à 1 136 m³ à la seconde. Cette considération pouvait faire douter de la possibilité de l'installation d'une usine hydraulique en aval de la jonction des deux rivières. Mais fort heureusement le confluent des deux eaux crée une sorte d'autorégulation et lorsque le débit de l'Arve augmente celui du Rhône diminue et *vice versa*. Le débit de l'ensemble des deux cours d'eaux, considéré en aval de la jonction, ne varie plus que de 120 m³ à 1 228 m³ soit approximativement dans le rapport de 1 à 10. Les conditions d'écoulement du fleuve ne subissent donc plus de variations extraordinaires.

Une autre question qu'il était nécessaire de prendre en considération était celle des ga-

lets que l'Arve charrie et amène dans le lit du Rhône. Ces galets peuvent atteindre en temps de crue le poids de 14 à 15 kilogrammes.

Il fallait donc que le nouveau régime en aval de la jonction permît également aux matériaux charriés par l'Arve de s'écouler et de ne pas s'accumuler en amont de la nouvelle installation.

En d'autres mots, il fallait combiner le nouveau régime de façon à obtenir à la fois, une hauteur suffisante de chute et un courant assez rapide pour faire écouler les gros matériaux au delà des barrages. Les études ont alors montré qu'une pente de 0,0005 par mètre donnait à l'eau une vitesse suffisante pour déblayer elle-même son lit. C'est cette considération qui a déterminé la hauteur de chute disponible en hautes eaux ; elle est de 5,05 m tandis qu'elle est de 8,80 mètres dans les basses eaux.

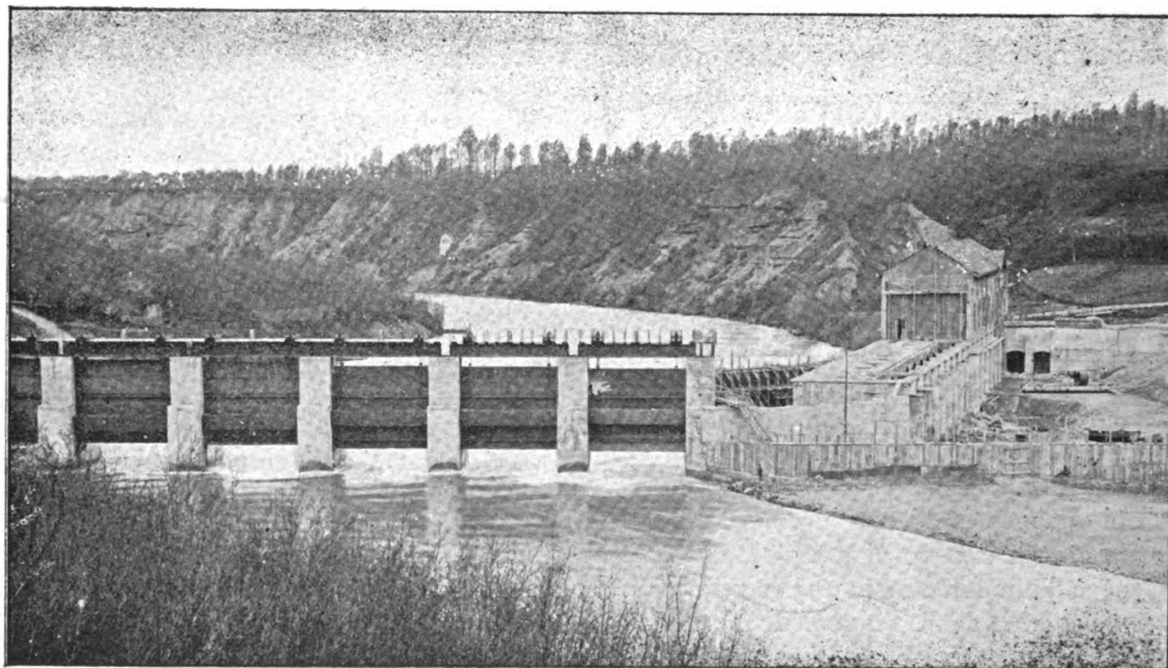


Fig. 1. — Vue d'ensemble de l'usine de Chèvres pendant la construction du batardeau.

L'emplacement de Chèvres présentait encore un autre avantage. Depuis sa jonction avec l'Arve, le Rhône coule presque exclusivement entre de hautes falaises ; les travaux et les expropriations ont donc été de peu d'importance. En outre la hauteur de chute est suffisante pour permettre le couplage direct des turbines et des dynamos.

Les ouvrages exécutés à l'usine même de Chèvres se composent d'un *barrage* transversal, d'une largeur utile de 78 mètres, avec une pile en maçonnerie au centre. Ce barrage est formé de vannes de 3 mètres d'ouverture ; son seuil est à 0,90 m au dessous du fond moyen du fleuve.

La retenue en basses eaux est donc de 8 m. La manœuvre des vannes se fait par un treuil mobile, actionné par un moteur électrique, et pouvant relever successivement chacune des vannes. Par mesure de prudence, on a installé un second moteur à vapeur, qui, de ce fait est indépendant de l'installation.

En amont du barrage, sur la rive gauche, est la prise du *canal d'amenée*. Ce canal a une largeur de 40 mètres. Des grilles, destinées à retenir les gros matériaux, sont placées à l'entrée du canal ; les barreaux sont distants de 30 cm. Une seconde grille, plus serrée, (10 cm) est disposée en ratelier à l'entrée du bâtiment des turbines, elle est indiquée sur la figure 2.

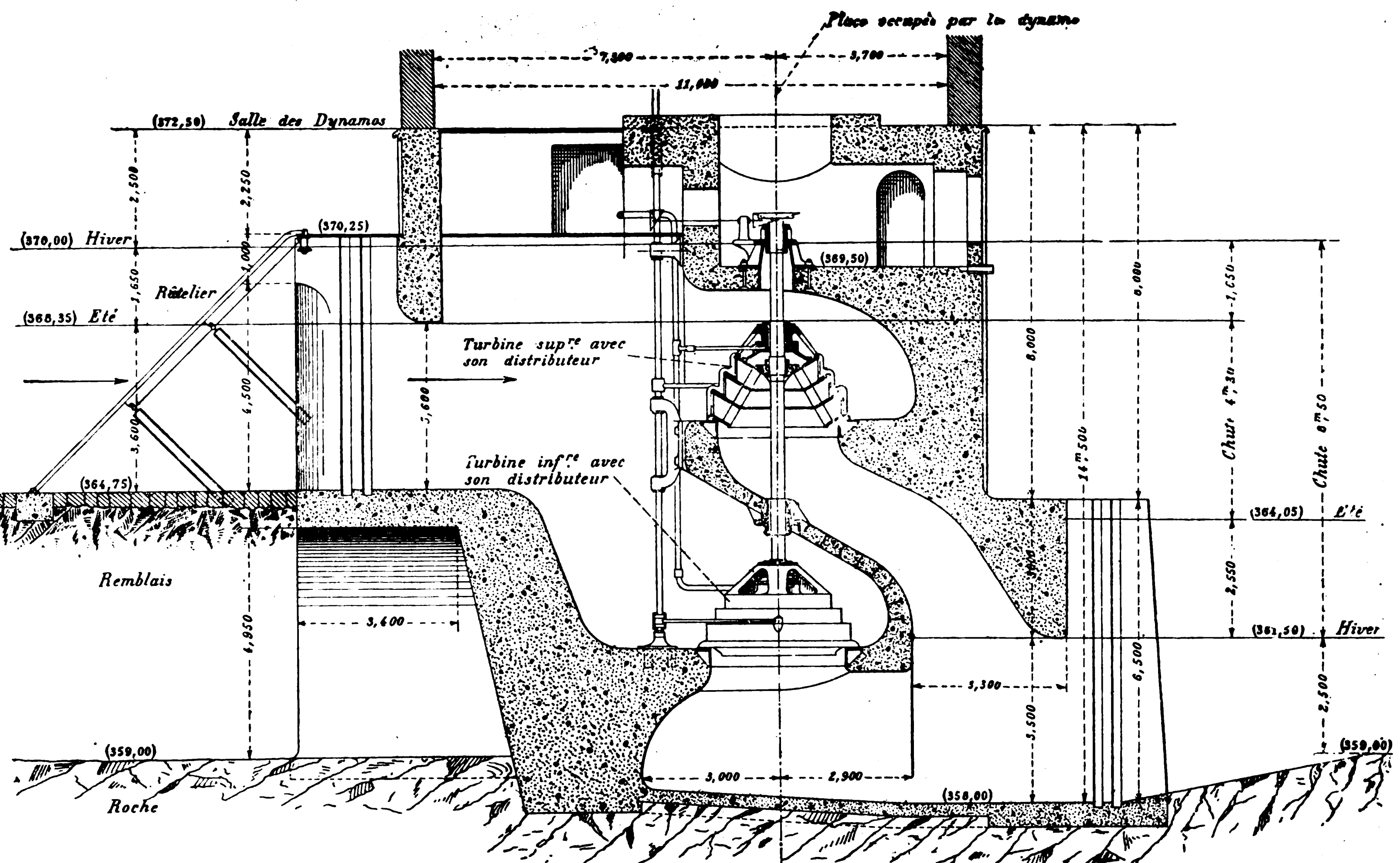


Fig. 2. — Coupe de l'installation d'une double turbine de 800 à 1200 chevaux.

Le *bâtiment des turbines* est situé à l'aval du barrage, auquel il est relié par une culée fondée sur la molasse; il est aménagé pour recevoir 15 turbines doubles de 800 à 1 200 chevaux espacées de 7,50 mètres.

L'entrée de chaque chambre est gardée par des vannes manœuvrées au moyen de moteurs électriques.

Le *canal de fuite* a également une largeur de 40 mètres, de sorte que les conditions d'écoulement sont les mêmes que pour le canal d'amenée. Une digue séparative se prolonge sur une longueur de 110 mètres; elle est destinée à paralyser l'influence des remous sur le niveau de l'eau à la sortie du bâtiment.

Quant au dispositif des turbines et de leurs

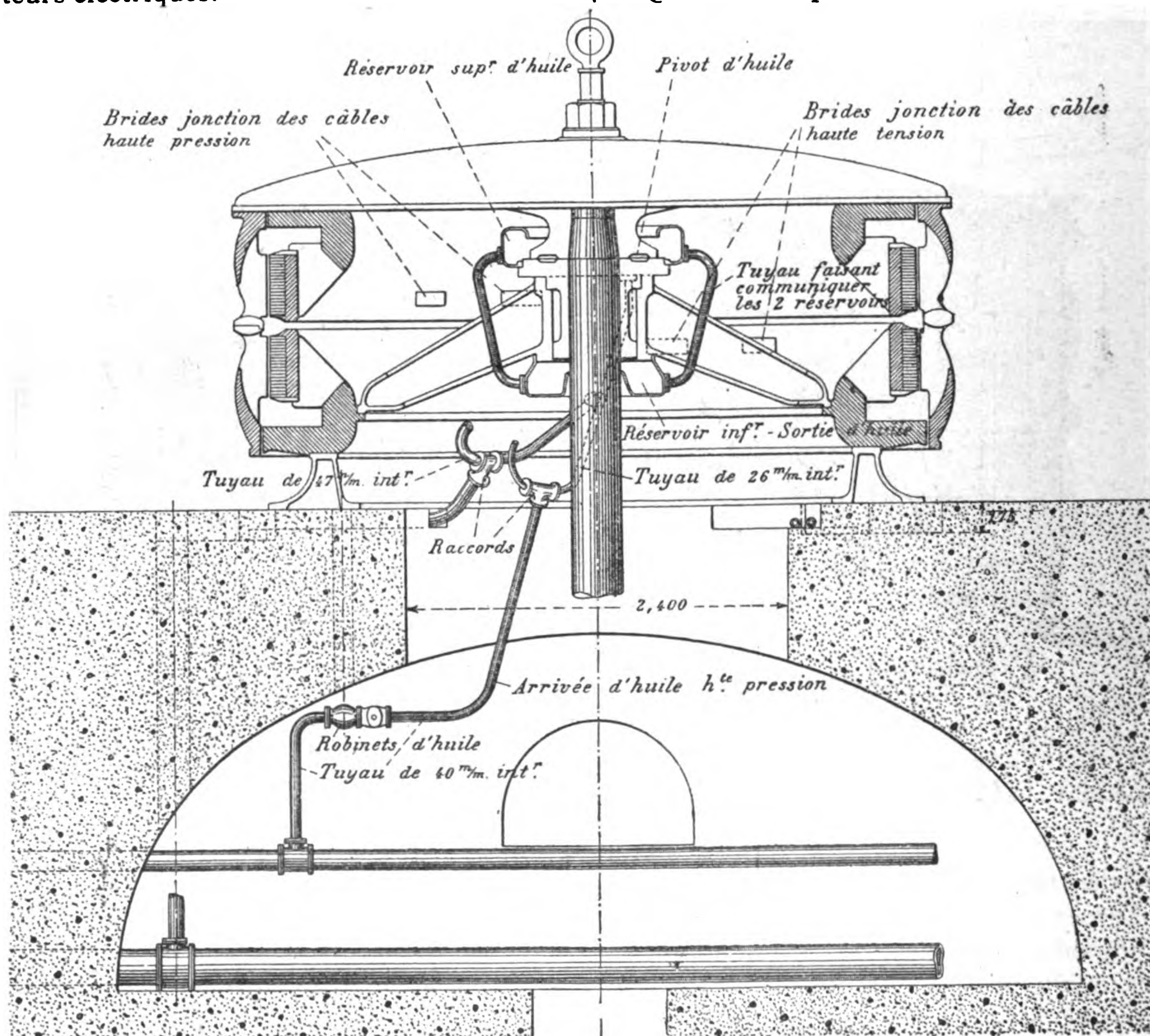


Fig. 3. — Alternateur biphasé de 800 à 1200 chevaux, avec dispositif pour pivots d'huile.

distributeurs, la figure 2 donne au lecteur une idée suffisante de leur fonctionnement. Deux turbines à réaction sont montées sur un même arbre vertical tournant à 55 tours. Ces turbines ont été livrées par la maison Escher Wyss et Cie de Zurich; leur rendement peut être estimé à 74 pour 100 et le coût à 84 fr par cheval. Elles sont munies du régulateur servomoteur Fæsch et Picard, employé déjà dans les autres installations hydrauliques de la ville.

Le visiteur parcourant l'Exposition pourra d'ailleurs visiter dans le fond de la halle des machines, une coupe du bâtiment des turbines grandeur nature exécutée en bois. Cette reproduction est du plus haut intérêt pour le

visiteur qui n'aurait pas le temps de faire une promenade jusqu'à Chèvres ; elle fait voir, dans tous les détails essentiels, le fonctionnement de la nouvelle usine

DYNAMOS GÉNÉRATRICES

Comme le montre la figure 2 les dynamos sont couplées directement sur l'arbre même des turbines et tournent parconséquent avec la même vitesse angulaire.

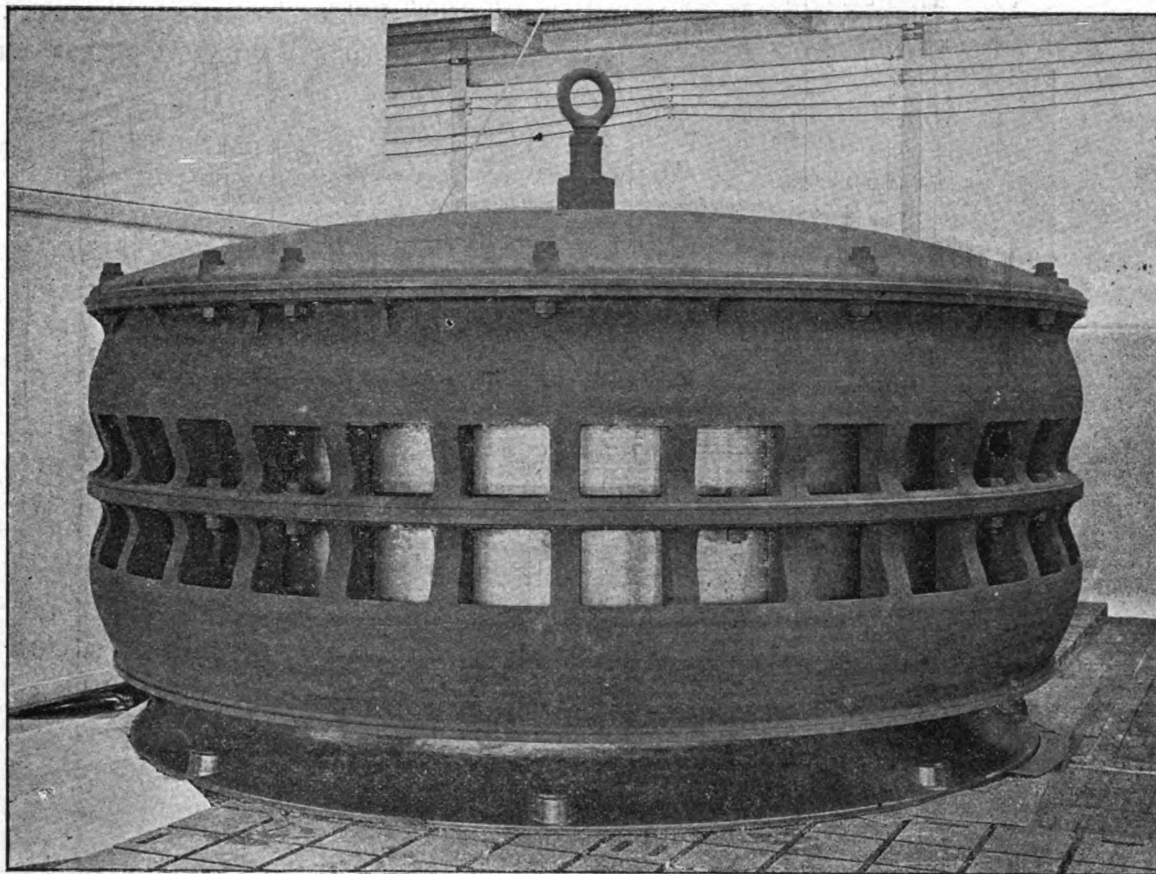


Fig. 4. — Vue extérieur d'un alternateur de 100 chevaux.

L'ensemble formé par les turbines et la partie mobile de la dynamo exercerait sur les pivots une pression qui, jointe à l'action de l'eau, peut être évaluée à près de 35 000 kg. Il était donc nécessaire d'exercer une autre pression afin d'éliminer le frottement considérable qui résulterait d'un pareil poids. A cet effet une pompe, actionnée par un moteur à courant continu, comprime de l'air à 15 atmosphères au dessus d'un réservoir d'huile. Cette huile à haute pression est alors injectée sous les pivots et contrebalance exactement l'effet du poids. Le frottement est ainsi réduit au minimum. Après avoir circulé et effectué le graissage de toutes les pièces frottantes, l'huile s'écoule dans de grands bassins à filtrer où elle est purifiée avant d'être refoulée à nouveau dans le réservoir de compression.

La figure 3 montre clairement le dispositif de graissage de la dynamo qui nécessite une circulation d'huile de 12 litres par minutes.

Afin de parer à toute éventualité, on a installé un réversoir d'air comprimé, toujours maintenu à la pression de 30 atmosphères. Au cas où quelque arrêt surviendrait dans le fonctionnement de la pompe de compression on pourrait à l'aide de cette réserve maintenir pendant plusieurs heures la pression

de 15 atmosphères dans le réservoir d'uile.

Les machines dynamos elles-mêmes ont été construites par la Compagnie de l'Industrie Électrique. Elles sont actuellement au nombre de trois, représentant une puissance de 2 400 à 3 600 chevaux. Chacune d'elles se compose de deux machines alternatives monophasées, superposées, ayant enroulement et excitation indépendants.

En principe, les enroulements de ces deux



Fig 5. — Vue des dynamos à courant continu.

machines sont décalés l'un par rapport à l'autre d'un quart de période, de sorte que leur ensemble constitue une machine biphasée dont chaque phase peut être réglé indépendamment par un rhéostat d'excitation.

Néanmoins, tout est prévu dans la construction de ces dynamos pour pouvoir au besoin modifier l'angle de calage que font entre eux les deux enroulements. On pourrait, par exemple, par un faible déplacement relatif des deux induits, coupler synchroniquement les deux machines et obtenir, sans modification coûteuse, du courant alternatif monophasé. Il suffirait alors de connecter les induits en série pour doubler la tension de la machine; le rendement de la transmission pourrait donc éventuellement être augmenté.

Quant au fonctionnement même des génératrices, il nécessite quelque explication, le

type de ces machines étant très différent de la plupart des alternateurs.

Il pourrait être représenté schématiquement par une sorte d'anneau ou tore en acier dont la section serait en forme de C.

Une partie mobile, formant une cloche cylindrique, recouvre cet anneau; sa paroi interne munie d'épanouissements polaires ou dents, vient donc fermer l'ouverture du C et constituer un circuit magnétique fermé. Ce circuit magnétique est excité par un enroulement unique à ruban dont les spires, logées à l'intérieur du tore, sont perpendiculaires à l'axe de rotation de la cloche.

Les enroulements induits sont des bobines plates appliquées sur un cylindre lamellé qui forme la lèvre inférieure du C, en regard des pièces polaires.

Le fonctionnement de la dynamo se comprend dès lors aisément; l'enroulement inducteur engendre dans toute l'étendue de l'anneau un flux magnétique qui, traversant la cloche, vient se répartir dans les dents pour rentrer dans l'anneau par le cylindre lamellé en coupant l'enroulement induit formé par les bobines plates.

Par sa rotation, la cloche produit ainsi une variation de flux dans l'entrefer où se trouve l'enroulement induit et engendre dans celui-ci une force électromotrice alternative.

On voit donc que le flux de force reste absolument constant à l'intérieur des épanouissements polaires et dans la presque totalité du circuit magnétique, à l'exception de l'entrefer.

La figure 4 donne une vue extérieure de la dynamo.

La cloche mobile se compose d'un plateau porteur calé sur l'arbre de la dynamo. A ce plateau sont fixées deux couronnes en acier coulé munies d'épanouissements polaires venus de fonte. A travers les interstices de ces épanouissements on aperçoit le cylindre lamellé sur la surface duquel seront fixées au moyen de bandages les bobines plates qui constituent l'induit.

On voit donc que dans ce type de machines la cloche extérieure est la seule partie mobile de la dynamo. Elle ne porte aucun enroulement; ce dispositif ingénieux qui caractérise d'ailleurs d'autres types d'alternateurs Thury permet donc de supprimer tout balais ou contacts glissants.

En second lieu, l'enroulement à haute tension placé à l'intérieur de la cloche se trouve très bien protégé; il ne peut recevoir aucun choc ni aucun contact d'un corps extérieur. De plus, en cas d'accident ou de réparation, le démontage est des plus faciles. Il suffit de soulever la cloche par l'anneau supérieur à l'aide d'un treuil fixé sur le pont roulant de l'usine pour mettre induit et inducteur à découvert et faire les réparations nécessaires.

A la sortie des machines le courant passe dans des survolteurs qui élèvent la tension aux environs de 3 000 volts avant d'envoyer le courant dans la ligne. Ces survolteurs sont d'ailleurs temporaires et n'ont été installés que pour pouvoir commencer l'exploitation à l'ouverture même de l'Exposition.

Les machines qui fournissent l'excitation des génératrices sont deux dynamos verticales à courant continu de 120 chevaux chacune (120 volts) figure 5; elles ont été livrées par la fabrique d'Oerlikon et sont actionnées par des turbines spéciales. Indépendamment du courant d'excitation des génératrices alternatives, elles alimentent un certain nombre de moteurs à courant continu, destinés à la pompe de compression dont nous avons parlé et à la manœuvre des vannes et des ponts roulants.

Telle est dans ses principaux traits l'installation actuelle de l'usine de Chèvres.

L'étude de la ligne et de la distribution de force et de lumière fera l'objet de notre prochain article.

C. E. GUYE,
Prof. agrégé à l'Ecole Polytechnique de Zurich.

UN WATTMÈTRE UNIVERSEL

Parmi les appareils de mesure employés dans les essais effectués sur des courants alternatifs, le wattmètre tout en étant le plus utile avait été un peu négligé, jusque dans ces dernières années, au point de vue des per-

fectionnements destinés à faciliter les mesures.

Le point le plus important est évidemment celui de l'amortissement. Tous ceux de nos lecteurs qui ont à faire souvent des mesures soit avec un wattmètre soit avec un électrodynamomètre non amortis savent combien il est difficile d'obtenir des mesures précises par suite des oscillations de l'index que l'on doit ramener au zéro.

C'est surtout dans ce but, que MM. Blondel et Labour ont été conduits à établir le type

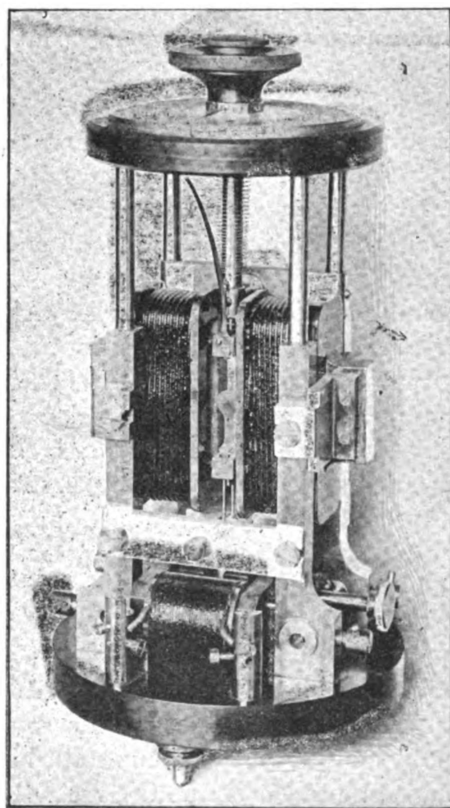


Fig. 1. — Wattmètre universel de MM. Blondel et Labour.

de wattmètre qu'ils ont exposé cette année à la Société de Physique et que je vais décrire. Néanmoins cet appareil possède également d'autres avantages non moins importants que celui de l'amortissement.

L'appareil est représenté dans son ensemble sur la figure 1. Deux disques en ébonite dont l'un, le supérieur, porte le cadran divisé en 360 degrés et dont l'autre, l'inférieur, sert de base à l'appareil, sont réunis par quatre colonnettes en cuivre rectangulaires, sauf à leur partie supérieure, servant de conducteurs et portant à leur base un renflement permettant d'y pratiquer un trou destiné à former une prise de courant.

Chacun des deux groupes de deux colonnettes sert de soutien à une bobine à gros fil fixée sur les colonnettes par une vis en fer et épousant leur forme rectangulaire sur une hauteur assez grande pour ménager une surface de contact suffisamment grande. Le contact n'a lieu que sur les deux surfaces latérales externes de façon à permettre le démontage de la bobine en la faisant glisser horizontalement. La figure 2 montre l'appareil après le démontage.

Cette disposition permet d'employer des jeux de deux bobines qui, tout en donnant sensiblement le même champ maximum, c'est à dire ayant un nombre d'ampères tours maxima donné, sont formées de fils ou de rubans de cuivre de section déterminée par l'intensité maxima que l'on veut y faire passer. L'appareil, par le seul changement des bobines, peut donc servir pour mesurer des puissances correspondant à des intensités de courant très diverses ; de plus les deux bobines d'un même jeu peuvent être montées en série ou en quantité ce qui double encore l'échelle des intensités pour lesquelles l'appareil peut être employé. Ces groupements s'obtiennent par l'inversion, extrémité pour extrémité, d'une des bobines et par des barrettes permettant de réunir deux des colonnes entre elles. Les figures 3, 4 et 5 montrent du reste suffisamment le montage de ces bobines pour qu'il soit inutile d'insister plus longtemps sur ce point.

La bobine à fil fin, placée dans le champ très homogène formé par les deux bobines à gros fil, est suspendue par un fil d'argent de deux à trois dixièmes de millimètre de diamètre. Ce fil, protégé sur toute sa longueur par un tube de cuivre, est enroulé à la partie supérieure sur un petit tambour calé contre le tube, après qu'on a obtenu la tension voulue à l'aide d'un petit écrou. A la partie infé-

rieure, la bobine à fil fin est guidée par un second fil d'argent que l'on peut également tendre à l'aide d'un levier à vis. Les fils supérieur et inférieur servent en même temps de conducteurs pour le courant traversant la bobine à fil fin. A cette bobine est fixé l'index et, comme dans les appareils semblables, l'une des extrémités du ressort dont l'autre est réunie à l'aiguille du cadran et dont le couple de torsion doit équilibrer le couple de répulsion des deux cadres.

Le cadre mobile porte, en outre, un miroir permettant d'employer, si l'on veut, l'appareil comme wattmètre à miroir.

L'amortissement des oscillations de l'appareil est obtenu de la manière ingénieuse suivante

Au cadre à fil fin est suspendu rigidement un petit cylindre de cuivre se déplaçant dans l'entrefer d'un électro-aimant dont les surfaces polaires sont cylindriques et au centre desquelles est disposé un petit anneau de fer doux.

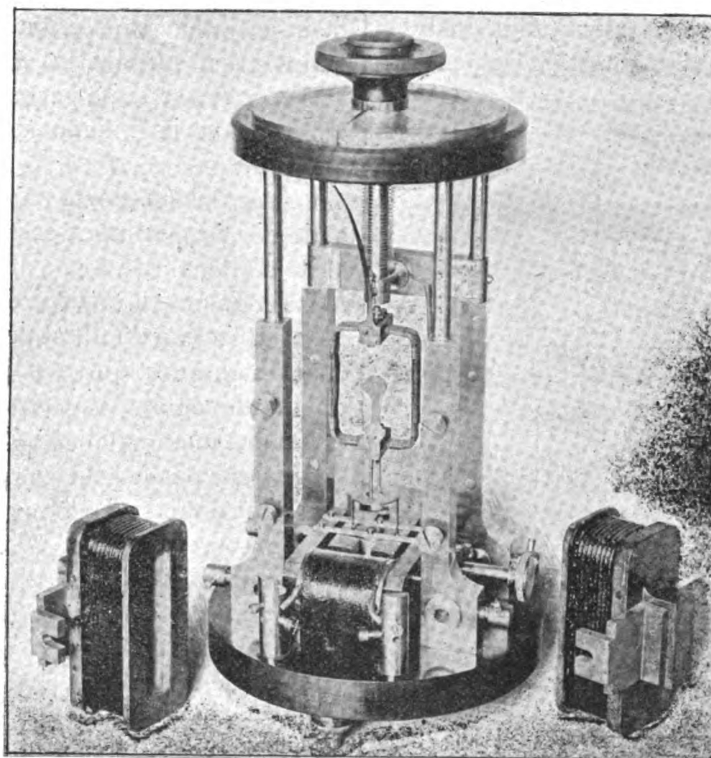


Fig. 2.— Vue du wattmètre de MM. Blondel et Labour après démontage.

Ces surfaces polaires peuvent de plus coulisser dans le noyau polaire, et en sens contraire, à l'aide d'un système de deux vis à deux filets, de façon à permettre l'augmentation ou la diminution de l'entrefer, c'est à dire le réglage de l'amortissement électromagnétique. Le système des deux vis est commandé par un seul pignon. La bobine de l'électro est calculée pour fonctionner avec 2 volts, c'est à dire avec un accumulateur.

Grâce à cette disposition particulière des pièces polaires, on peut modifier à volonté l'amortissement des oscillations et de plus, en serrant le cylindre amortisseur entre les surfaces polaires et le disque central, on peut caler l'équipage mobile pour le transport de l'appareil sans avoir à craindre de modifier les conditions de son étalonnement.

L'appareil est supporté par trois vis calantes permettant de le disposer bien verticalement.

La figure schématique indique le montage de l'appareil dans un circuit quelconque.

On voit par cette description que le wattmètre de MM. Blondel et Labour jouit des principaux avantages suivants :

Les oscillations du cadre mobile et par suite de l'index qui y est fixé peuvent être amorties à volonté sans aucune diminution de la sensibilité.

Les indications de l'appareil ne sont pas, comme ceux du genre Siemens, dépendantes du coefficient de torsion du fil de suspension ni de sa tension.

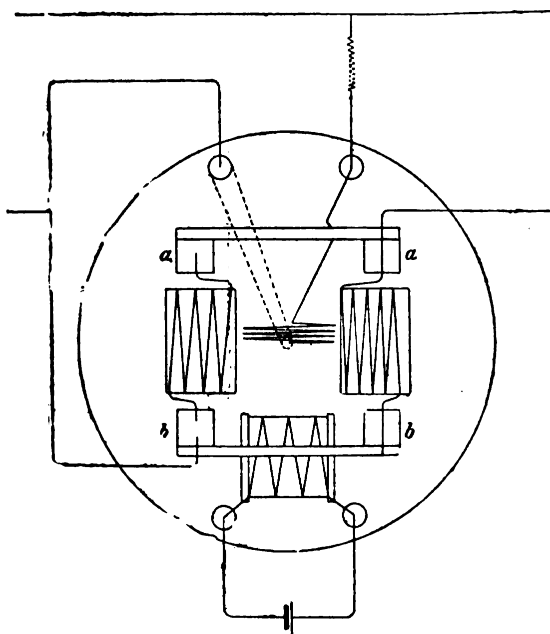


Fig. 3. — Schéma des connexions du wattmètre.

Ceci n'est plus vrai lorsqu'on emploie l'appareil comme wattmètre à miroir ; dans ce cas, du reste, il est nécessaire d'étalonner l'appareil pour différents points de l'échelle.

Il est construit dans des conditions d'isolation telle qu'il puisse être employé avec de hautes tensions, après l'avoir entouré d'une enveloppe de verre.

Un seul appareil permet de mesurer toutes les puissances possibles, il suffit d'avoir un nombre suffisant de paires de bobines de rechange. Les puissances diphasées et triphasées exigeant au plus deux wattmètres, un laboratoire bien monté n'a besoin que de deux appareils, au lieu de deux séries. D'où le nom de wattmètre universel que lui ont donné les inventeurs.

Les photographies 1 et 2 sont prises sur un appareil construit par la Société « l'Éclairage Électrique » et que l'auteur a entre les mains.

Cet appareil a quatre jeux de bobines de rechange.

Dans le premier, chaque bobine a 30 spires de fil de 7 mm² de section. Elle est destinée à supporter des intensités ne dépassant pas 25 ampères et par suite permet d'opérer sur des courants variant de 0 à 25 ampères et de 25 à 50.

Le second comporte par bobine deux spires et demie de 70 mm² de section ; il permet par suite d'aller jusqu'à 500 ampères.

Le troisième a une spire et demie par bobine, la section du fil est de 140 mm² et le courant maximum qu'on peut obtenir avec les deux bobines en quantité est de 1 000 ampères.

Enfin dans le quatrième chaque bobine n'a qu'une demi-spire de 400 mm² de section et permet d'aller jusqu'à 2 500 ampères.

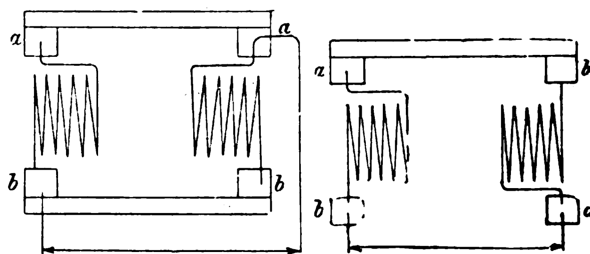


Fig. 4 et 5. — Montage des bobines en parallèle et en série.

Les demi-spires de chaque bobine sont complétées, pour former des spires entières, par les parties conductrices de l'appareil et le circuit extérieur.

Le cadre mobile est formé de fil de 0,125 mm² de section, pouvant supporter au maximum 0,50 ampère, sa résistance est de 4 ohms.

Les déviations de l'appareil sont très sensiblement proportionnelles aux watts sur toute la graduation ; autrement dit, la constante reste la même, quelle que soit la déviation. Ceci n'a lieu pour le courant alternatif

qu'à condition de mettre une résistance suffisante en série avec la bobine à fil fin.

L'étalonnement de l'appareil peut se faire comme pour tous les wattmètres avec un courant continu ; il faut alors prendre quelques précautions pour éliminer l'action du champ terrestre sur la bobine à fil fin. De plus, bien que le champ de l'amortisseur ait été placé à dessein perpendiculairement à l'axe du cadre mobile, il y a toujours une certaine influence de ce champ sur le cadre considéré.

Pour parer à ces inconvénients, on peut employer le procédé suivant: on introduit une différence de potentiel constante aux bornes du cadre mobile et de sa résistance et on note l'angle de torsion à imprimer au ressort pour équilibrer l'action électromagnétique qui s'exerce entre la bobine à fil fin et les champs parasites. Le zéro de l'appareil doit être pris au chiffre où se trouve alors l'aiguille.

A titre d'exemple, je donnerai les résultats de deux étalonnements faits, l'un avec différentes résistances en série avec la bobine à fil fin et avec des courants alternatifs de faible intensité (0 à 50 ampères), l'autre avec des courants continus de 100 à 400 ampères. Avec une résistance de 1 500 ohms dans le cadre à fil fin, la constante est de 47,2 watts par division pour la totalité du cadran ; avec 1 000 ohms, elle est de 31,7 watts par division ; avec 500 ohms, elle est de 16 watts par division ; pour 250 ohms seulement, la constante n'est plus la même pour toute la graduation ; elle augmente avec les divisions, surtout pour des déviations faibles.

Avec des courants continus, 1 000 ohms en série avec le cadre mobile et deux bobines à gros fil en série (6 spires), la constante est de 350 watts pour toute la graduation avec une erreur de moins d'un demi pour cent entre les chiffres relevés.

Si l'on emploie l'appareil avec des courants continus à potentiel variable, il est nécessaire de munir l'appareil d'un écran, pour éviter l'action du champ de l'amortisseur sur le cadre à fil fin.

En résumé, le wattmètre universel de MM. Blondel et Labour réalise toutes les conditions d'un bon appareil industriel, tant au point de vue de la précision des mesures que de la rapidité et des limites très étendues des lectures, aussi serions-nous heureux de le voir employer dans tous les laboratoires.

F. Guilbert.

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES SUR LES SYSTÈMES OSCILLANTS

§ 1. Notions générales.

Les instruments employés industriellement pour déceler ou mesurer les phénomènes électriques, bien que nombreux par leurs dispositions et leurs formes, peuvent se ramener à un petit nombre de types.

On appelle galvanomètres ceux dans lesquels un courant traverse un circuit et agit sur un aimant permanent ; le circuit ou l'aimant est mobile, c'est le mouvement de cette partie mobile qui donne la mesure du courant.

Dans les électrodynamomètres, le courant traverse deux circuits dont l'un est mobile ; l'action électrodynamique qui s'exerce entre les deux circuits, détermine le mouvement de la partie mobile.

Les électromètres enfin, sont basés sur les actions électrostatiques ; ils ne sont pas traversés par le courant et l'effet observé ne dépend que des différences de potentiel entre les diverses parties de l'instrument.

D'une façon générale, l'observation dans les mesures électriques est toujours ramenée à la constatation du déplacement d'un organe mobile ; celui-ci étant soumis d'une part aux forces électriques, d'autre part à des forces mécaniques opposées, se trouve dans les conditions ordinaires des systèmes oscillants et pour bien se rendre compte des phénomènes en jeu, il est bon d'avoir toujours présentes à l'esprit les lois principales du mouvement oscillatoire.

Le système mobile soumis à l'action des forces électriques et mécaniques, qui n'est

autre chose qu'un pendule composé, possède une certaine inertie, de telle sorte qu'une fois écarté de sa position d'équilibre il devrait osciller indéfiniment, puisqu'en l'écartant de cette position on a emmagasiné une certaine quantité d'énergie ; mais en oscillant il doit vaincre des forces qui, nulles au repos, augmentent avec la vitesse, la résistance de l'air, les réactions des courants induits par exemple ; ces forces dépensent peu à peu l'énergie emmagasinée et le mobile finit par revenir au repos dans sa position d'équilibre.

Dans tous les instruments de mesures, nous avons à considérer :

1° Les forces électriques dues aux phénomènes à mesurer ; celles-ci sont pour un appareil donné proportionnelles à une certaine fonction du phénomène.

2° Les forces mécaniques qui s'opposent au déplacement; dans la plupart des cas, ces forces se ramènent à un couple :

$$W\alpha \qquad \text{ou} \qquad W \sin \alpha.$$

Dans les appareils que nous aurons à étudier, le couple sera presque toujours proportionnel à α, ou la déviation assez petite pour que $\sin \alpha$ se confonde avec α.

3° Les forces qui produisent l'amortissement et qui sont fonction de la vitesse :

$$A\left(\frac{d\alpha}{dt}\right)^m.$$

Lorsque ces forces sont dues aux courants induits, $m = 1$; on peut également prendre $m = 1$, dans le cas de l'amortissement par l'air, quand les mouvements observés sont petits et la vitesse $\frac{d\alpha}{dt}$ faible.

Nous pouvons en négligeant les forces électriques, considérer simplement ce qui se passe lorsque, dévié d'une façon quelconque, le mobile abandonné à lui-même revient au zéro sous l'action du couple W. L'observation de ce mouvement permet de déterminer un certain nombre de constantes de l'appareil.

On sait qu'à chaque instant le moment des forces agissant sur le mobile est égal au produit du moment d'inertie par l'accélération angulaire :

$$K\frac{d^2\alpha}{dt^2} + A\frac{d\alpha}{dt} + W\alpha = 0. \qquad (1)$$

L'intégration de cette équation différentielle donne toutes les constantes qu'il est intéressant de connaître ; nous ne prendrons que les résultats.

Observons un pendule qui se déplace devant une règle divisée, et notons à chaque instant le temps t et la position α du mobile sur l'échelle, nous pouvons tracer une courbe en portant en ordonnées les déviations et en abscisses les temps. Selon la grandeur relative des coefficients K, A et W, la courbe obtenue prendra l'aspect d'une de celles de la figure 1.

On appelle mouvement *périodique*, celui dans lequel le mobile dépasse la position d'équilibre après en avoir été écarté. Le mouvement périodique peut être sans *amortissement* comme dans la courbe I (fig. 1). où l'on voit le mobile atteindre toujours la même déviation maximum à chaque oscillation ; c'est le cas où le coefficient A est nul. Dès que A n'est pas nul, le mouvement est *périodique et amorti*, courbes II et III ; la grandeur des oscillations décroît régulièrement.

A partir d'une certaine valeur de A, le mouvement est *apériodique*, le mobile revient à sa position d'équilibre *sans la dépasser*, quelle que soit la grandeur de la déviation initiale. Dans le mouvement apériodique, l'amortissement peut être plus ou moins grand ; plus il augmente et plus le mobile est long à revenir au zéro.

On appelle *déviation*, la distance lue sur l'échelle, entre la position actuelle du mobile et sa position de repos déterminée par $W\alpha = 0$. Quand la déviation est produite par un phénomène constant, on l'appelle *déviation permanente ;* on appelle *élongation* la déviation maximum du mobile en mouvement, tels les points a, b et c de la courbe II. Les élongation correspondent au temps où la vitesse du mobile $\frac{d\alpha}{dt}$ est nulle ; elles sont en général d'une

observation facile. L'*amplitude* d'une oscillation est la distance entre deux maxima d'oscillation, autrement dit la somme de deux élongations consécutives ; comme les amplitudes sont plus faciles à mesurer que les élongations, dans les cas où le zéro n'est pas exactement connu, on les substitue souvent à ces dernières dans les calculs, elles jouissent d'ailleurs des mêmes propriétés.

La *durée* d'une oscillation est le temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs à la position d'équilibre.

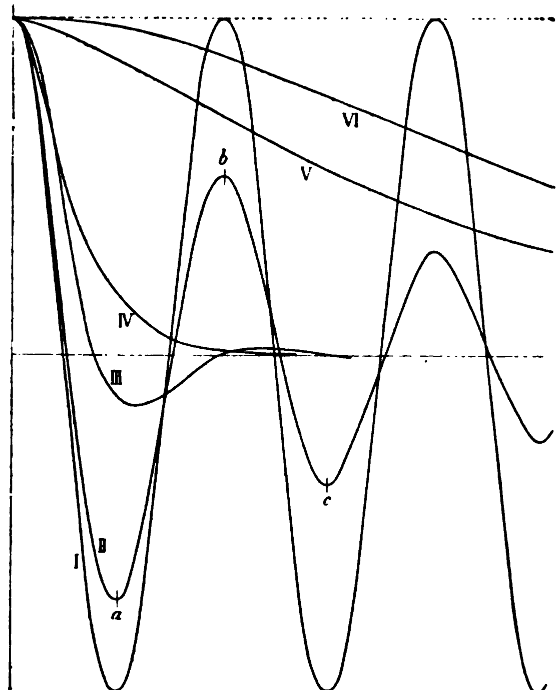


Fig. 1. — Valeurs de $\alpha = f(t)$ lorsque A prend des valeurs croissantes de o à ∞, W et K étant constants ($\omega_0 = 0$).

La résolution de l'équation (1) donne la déviation α en fonction du temps t de l'observation.

Appelons b le terme $\frac{A}{2K}$ et T_0 le terme $\pi\sqrt{\frac{K}{W}}$; les solutions diffèrent selon que

$$b \gtreqless \frac{\pi}{T_0}.$$

Quand b est plus petit que $\frac{\pi}{T_0}$, le mouvement est périodique, avec un amortissement d'autant plus grand que b est lui-même plus grand. Dans ce mouvement périodique, on a constaté que les oscillations sont isochrones et leur durée T est

$$T = T_0\sqrt{1 + \frac{\lambda^2}{\pi^2}} \qquad (2)$$

Les amplitudes successives des oscillations décroissent suivant une progression géométrique; appelons a_n et a_{n+1} deux amplitudes consécutives, nous aurons

$$\frac{a_n}{a_{n+1}} = e^{-bT'} \qquad (3)$$

le terme e^{-bT} est donc le rapport de deux élongations consécutives. On donne à l'exposant bT le nom de *décrément logarithmique* des oscillations et on le représente d'ordinaire par la lettre λ ; ce facteur se déduit directement de l'observation des oscillations; en effet connaissant deux amplitudes a_1 et a_n par exemple, on tire de (3)

$$\lambda = \frac{1}{n-1} \log_n \frac{a_1}{a_n}. \qquad (4)$$

Le décrément logarithmiqne est proportionnel à l'amortissement de telle sorte que pour $\lambda = 0$, nous trouvons $T = T_0$; le facteur T_0 est donc simplement la durée d'oscillation du système quand l'amortissement est nul.

La courbe I fig. (1) qui correspond à $b = 0$, est une sinusoïde ; à mesure que b augmente, cette forme disparaît; les oscillations augmentent de durée tout en restant isochrones ; les élongations ne se produisent plus à intervalles égaux de deux passages au zéro, bien que le temps entre deux élongations soit toujours égal à T.

Lorsque b devient égal à $\frac{\pi}{T_0}$, le mouvement est apériodique; cette valeur est intéressante car elle donne dans beaucoup de cas des solutions simples comme nous le verrons en parlant des galvanomètres ; nous appellerons *critiques* toutes les valeurs qui correspondent à ce point : amortissement critique, résistance critique, etc.

Le mouvement critique est représenté par la courbe IV fig. (1). Quand b augmente en-

core, courbes V et VI, le mouvement du mobile est de plus en plus ralenti ; la valeur critique de b, jouit donc de cette propriété d'être celle qui permet le retour au zéro le plus rapide, quand le mouvement est apériodique.

Les courbes de la fig. (1), sont tracées pour

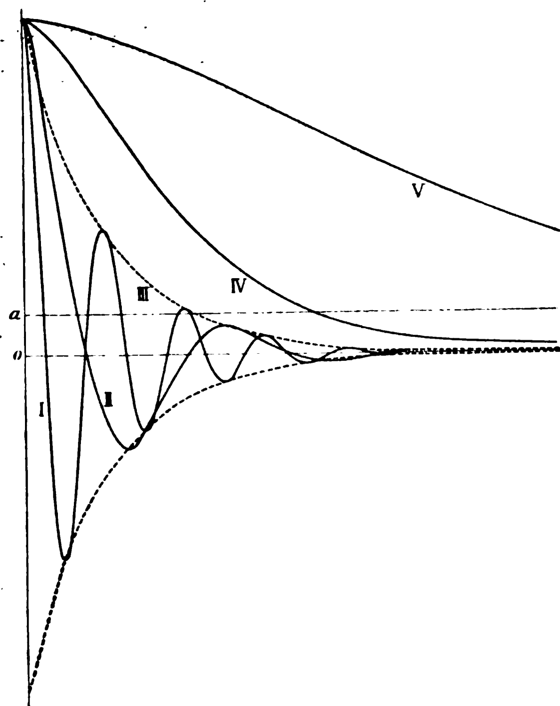


Fig. 2. — Valeurs de $\alpha = f(t)$ pour $\frac{A}{2K}$ constant, lors-W prend des valeurs décroissants de ∞ jusqu'à o.

une même valeur α de la déviation initiale, ainsi que pour un couple et un moment d'inertie constants. Nous trouverons un exemple de cette variation de b seul, dans les galvanomètres à cadre mobile.

Nous pouvons aussi considérer ce qui se produit quand on fait varier seulement le couple de W en laissant A et K constants. La figure 2 nous montre que pour une très grande valeur de W, le mouvement est périodique; la durée d'oscillation infiniment courte d'abord augmente quand W diminue, jusqu'à ce qu'on atteigne la valeur critique ; dès ce moment, le mouvement est apériodique.

Remarquons que toutes les courbes périodiques, I et II figure 2, ont leurs élongations situées sur une seule courbe III,

$$\alpha' = \alpha_0 \, e^{-bt} \qquad (5)$$

quand α_0 est pris comme unité.

Dans aucun cas, théoriquement, le mobile ne doit revenir au zéro pour y rester en repos; cette condition ne peut être remplie qu'au bout d'un temps t infini, mais en pratique les oscillations décroissent assez vite pour qu'au bout d'un temps limité, leur amplitude soit imperceptible ; le problème intéressant consiste donc à déterminer au bout de combien de temps ce résultat sera atteint.

Soit $\frac{1}{m} = \frac{\alpha}{\alpha_0}$ la fraction à laquelle il faut réduire l'amplitude pour considérer le mobile comme en repos ; l'équation (5) nous montre que ce résultat sera atteint au bout d'un temps t_1

$$t_1 = \frac{1}{b} \log_n m \qquad (6)$$

Ce calcul n'est absolument exact que si $\frac{\alpha_0}{m}$ est la grandeur de la n^e élongation ; en effet, la courbe $\alpha = f(t)$ dans le mouvement périodique dépasse un peu la courbe III dans le retour au zéro, mais cette erreur qui est de 5 pour 100 pour $\lambda = 1$ et de 18 pour 100 pour $\lambda = 2$, est négligeable en pratique, et on peut dire que le coefficient b est caractéristique de l'amortissement du système ; c'est pour cette cette raison que nous l'appellerons *coefficient d'amortissement*. Enfin, remarque importante surtout pour les galvanomètres à aimant mobile, la durée t_1 de retour au zéro est, abstraction faite de la réserve ci-dessus, indépendante de la valeur de l'oscillation T.

Il est intéressant de se rendre compte de l'influence des trois facteurs A, K et W, sur le rapport $\frac{1}{m}$, c'est ce que montre la figure 3. Les trois courbes sont tracées en prenant pour abscisses A, K et W, rapportées chacune à sa valeur critique comme unité ; le temps t_1 est le même pour toutes.

Quand le couple W est nul, le système n'est pas rappelé au zéro, donc $\frac{1}{m}$ est toujours

égal à 1. Jusqu'à la valeur critique, $\frac{1}{m}$ décroît; au delà, il diminue plus lentement et finit par atteindre la valeur limite indiquée par l'équation (6).

Pour l'amortissement nul, $A = 0$, les oscillations ont indéfiniment la même amplitude, donc $m = 1$. Quand A augmente, $\frac{1}{m}$ diminue, passe par un minimum pour la valeur critique, puis augmente de nouveau au delà.

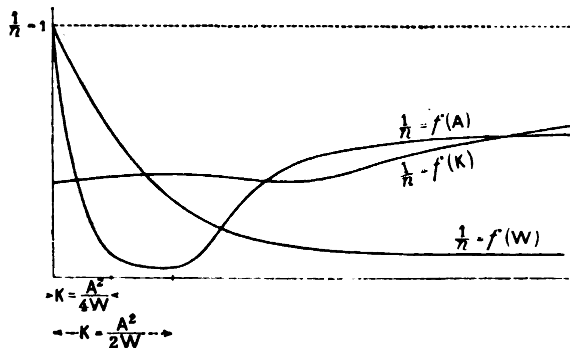


Fig. 3.

Pour $K = 0$, le rapport

$$\frac{1}{m} = e^{\frac{W}{A} t_1}$$

il repasse par la même valeur quand K égale deux fois K critique ; au delà $\frac{1}{m}$ augmente et tend vers 1. Entre les deux points $K = 0$ et $2\,K_c$, le rapport $\frac{1}{m}$ passe par un maximum ou un minimum selon la valeur de t_1 choisie.

Ces courbes montrent que pour obtenir un appareil à *indications rapides*, il faut autant que possible agir sur les facteurs A, K et W, de façon à obtenir l'amortissement critique.

La durée d'oscillation T est soumise aux variations des mêmes facteurs ; c'est ce que montre la figure 4, où les durées d'oscillation sont portées en ordonnées et les facteurs A, K et W en abscisses ; chacun de ceux-ci a été rapporté à sa valeur critique prise comme unité. En fonction de A, T part de T_0, oscillation non amortie, pour augmenter lentement d'abord, puis plus rapidement, de façon à être égale à l'infini pour A_c. Tant que K est inférieur à K_c, T est infini, mais décroît rapidement ensuite pour atteindre un minimum pour $2\,K_c$ et augmenter ensuite vers l'infini. En fonction de W, la durée d'oscillation T décroît constamment à partir de la valeur critique.e

L'augmentation du rapport $\frac{T}{T_0}$ en fonction du décrément e est donnée par l'équation (2). Sur le tableau suivant, on voit que pour $\lambda < 0{,}5$, on peut calculer T_0 par la formule simplifié

$$T_0 - T\left(1 = \frac{\lambda^2}{20}\right) \qquad (7)$$

qui est exacte à 0,01 pour cent

λ	$\frac{T}{T_0}$
$\lambda = 0{,}5$	$\frac{T}{T_0} = 1{,}012$
1	1,049
1,5	1,106
2	1,183
2,5	1,274
3	1,379

Nous pouvons résoudre l'équation (1) en partant d'une vitesse initiale ω_0 finie, à l'instant où le mobile passe au zero, c'est à dire quand α_0 égal 0. Dans les courbes précédentes, nous avions pris au contraire α_0 fini et $\omega_0 = 0$.

Passant au zéro avec cette vitess ω_0, le mobile va continuer son chemin jusqu'au moment où le couple W et l'amortissement A le forceront à revenir ; dès ce moment tout va se passer comme précédemment, nous n'avons pas à nous y arrêter, mais il est intéressant pour nous de connaître la valeur de la première élongation ε du mobile en fonction de la vitesse initiale.

De même que précédemment, les solutions sont différentes selon la grandeur de b.

Pour $b < \frac{\pi}{T_0}$, on a

$$\varepsilon = \omega_0 \frac{T}{\sqrt{\pi^2 + \lambda^2}}\, e^{-\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\pi}{\lambda}} \qquad (8)$$

Cette élongation est obtenue au bout d'un temps

$$t_\varepsilon = \frac{T}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\pi}{\lambda}; \qquad (9)$$

t_ε est donc égal à la demie oscillation quand l'amortissement est nul, il diminue quand b augmente et passe par un minimum

$$t_\varepsilon = \frac{T_0}{\tau} \qquad (10)$$

lorsque b atteint la valeur critique ; dans ce cas l'élongation est donnée par l'équation très simple

$$\varepsilon = \omega_0 \frac{T_0}{\pi e}. \qquad (11)$$

Enfin pour $b > \frac{\pi}{T_0}$, le temps t_ε et l'élongation ε sont donnés par des fonctions trop comple-

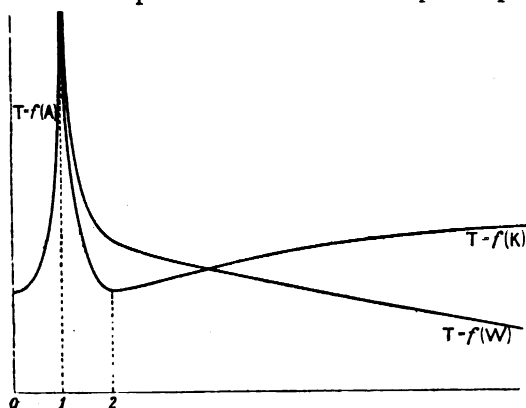


Fig. 4.

xes, pour être employées couramment ; il suffit de savoir que l'on a toujours

$$\varepsilon = \omega_0 M \qquad (12)$$

M représentant une fonction de b et T_0. Comme M est constant quand b et T_0 sont donnés on voit que la *première élongation est toujours proportionnelle à la vitesse initiale*. Les équations (8) (11) et (12) sont très importantes pour l'étude des galvanomètres balistiques.

Nous avons réuni dans la figure 5 des courbes montrant l'effet de la variation de A sur l'élongation. A augmente suivant l'ordre des courbes; celles-ci sont calculées pour les mêmes valeurs de ω_0, W et K. On voit que ε diminue à chaque augmentation de A, pendant que le temps t_ε se rappproche de $\frac{T}{\pi}$ jusqu'à la valeur critique, pour s'en éloigner ensuite jusqu'à l'infini.

La figure 6 montre les mêmes courbes calculées pour ω_0, A et K constants, W seul variant; là, l'élongation et le temps t_ε décroissent ensemble quand W augmente.

En pratique, un système oscillant est bien

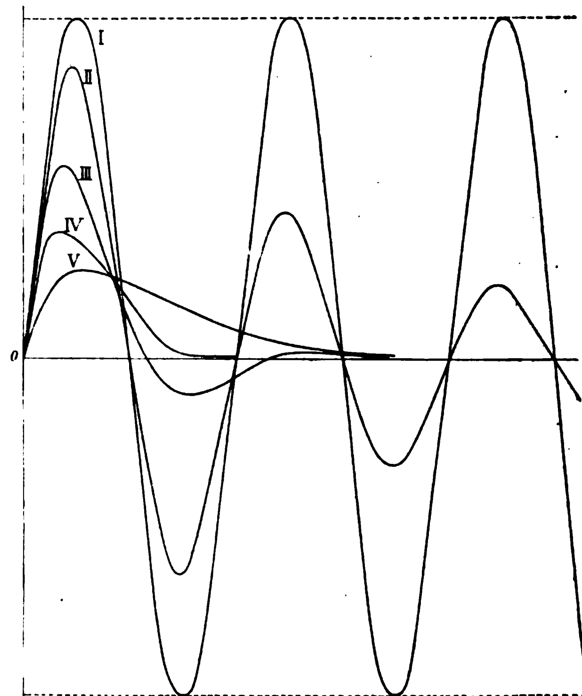


Fig. 5. — Valeurs de $\alpha = f(t)$ pour A croissant de o à une valeur très grande, W et K étant constants ($\omega_0 = 1$).

déterminé dès qu'on connait sa durée d'oscillation T et son décrément logarithmique λ; de ces deux valeurs, on peut en effet tirer T_0 et b. Dans certains cas, par exemple lorsqu'on veut modifier un appareil existant, il est nécessaire de connaître les valeurs absolues de A, K et W ; les deux dernières se mesurent directement, la première se déduit de b et K.

§ 2. SUSPENSIONS DIVERSES DES SYSTEMES OSCILLANTS

Le système pendulaire théorique dont nous avons parlé jusqu'ici, doit, pour être réalisé matériellement, reposer sur une *suspension* qui lui permet de tourner autour de l'axe de rotation. Les suspensions les plus employées sont les suivantes :

1° *Le plan d'oscillation est vertical.* — C'est le cas le plus général des appareils employés dans l'industrie ; souvent le mobile est muni

de deux couteaux dont les arêtes sont situées exactement sur l'axe de rotation, celles-ci reposent sur des plans ou dans des angles en V très ouverts, en agate ou en acier, (fig. 7 I) ; c'est, mais avec plus de légèreté, la suspension des balances de précision. Ces couteaux et leurs supports exigent de grands soins de fabrication et doivent être maniés avec précaution ; on ne les emploie guère que pour les appareils très sensibles et à faible force directrice.

Plus souvent le mobile porte deux pivots cylindriques qui passent dans des chapes en

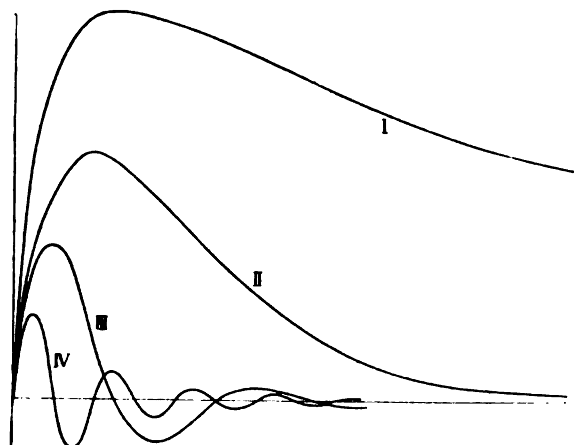


Fig. 6. — Valeurs de $\alpha = f(t)$ pour b constant lorsque W croît d'une valeur très faible à une valeur plus grande, pour $\omega_0 = 1$.

agate ou en acier (fig. 7 II), ou bien encore deux pivots en acier, très aigus et très durs qui reposent dans des chapes coniques en cuivre rouge (fig. 7 III).

Dans toutes ces suspensions, si le centre de gravité ne se trouve pas exactement situé sur l'axe de rotation, la pesanteur agit sur le mobile en déterminant un couple

$$W_1 \sin \alpha = M \delta \sin \alpha, \qquad (13)$$

W_1 couple correspondant à l'angle $\alpha = \frac{\pi}{2}$,

α angle que fait avec la verticale, la ligne qui joint le centre de gravité et l'axe de rotation,

M masse du mobile,

δ distance entre le centre de gravité et l'axe de rotation.

Au cas où $\delta = 0$, le système est en équilibre indifférent ; pour le diriger, il faut employer des ressorts comme nous le verrons plus loin, ou des forces électriques ou électromagnétiques. Nous verrons dans les galvanomètres et les appareils industriels, que cette dernière solution est très employée.

On donne aux galvanomètres dans lesquels l'équilibre est indifférent par suite de l'annulation des attractions magnétiques, le nom de galvanomètres *astatiques*, par extension, nous appellerons astatiques toutes les suspensions ayant un couple nul.

2° *Le plan d'oscillation est horizontal*, ce qui a lieu dans le plus grand nombre des appareils de laboratoires. Comme dans le cas pré-

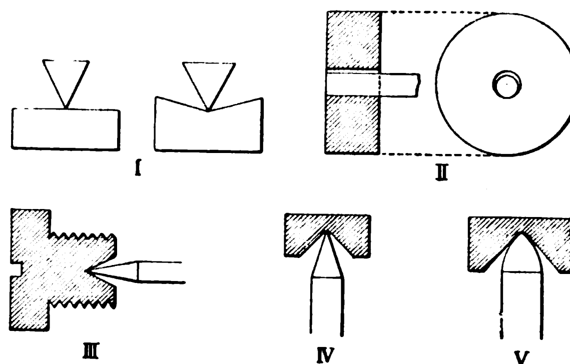


Fig. 7.

cédent, le système de suspension peut être astatique ou concourir lui-même à la formation du couple directeur.

Il n'y a de rigoureusement astatique que la suspension sur pivot, soit que le mobile porte une chape en agate qui repose sur la pointe d'un pivot, comme dans les boussoles ordinaires (fig. 7 IV), ou bien que le mobile muni de deux pivots dont les pointes déterminent exactement l'axe de rotation, repose entre deux chapes fixes ; on se sert aussi de la disposition avec pivots cylindriques semblable à celle de la figure 7 II. Ces dispositions sont susceptibles d'un certain nombre de variantes. De la bonne exécution du pivotage

résulte souvent la qualité d'un instrument.

Les pivots doivent être évidemment proportionnés au poids du mobile à porter, un pivotage bien fait doit permettre un retour très exact au zéro, les indications répétées doivent être concordantes ; ces résultats peuvent être obtenus à l'aide de pivots à angles très aigus ou très obtus ; la première disposition est plus facile à réaliser, mais les pivots usent rapidement les chapes ou s'écrasent eux-mêmes, de telle sorte que l'appareil arrive bientôt à être sinon hors d'usage, du moins très médiocre. Avec des pivots à angle très ouvert, si on a soin de faire la pointe très dure, en osmiure d'iridium par exemple, et si d'autre part, la chape a une forme appropriée comme le montre la figure 7 V, la *sensibilité* du pivotage (qu'il ne faut pas confondre avec la *sensibilité* de l'instrument), peut être moïndre qu'avec un angle aigu, mais cette qualité se conserve beaucoup mieux et en résumé, il est préférable d'avoir toujours des indications de précision suffisantes, que des indications rigoureuses au début et mauvaises à la fin.

Parmi les suspensions astatiques, on range encore les fils de cocon et de quartz ; en réalité le couple de torsion de ces fils est extrêmement faible, mais quand il s'agit d'appareils très sensibles, il n'est pas négligeable.

Dans beaucoup de cas enfin, on fait usage de fils métalliques qui agissent à la fois pour suspendre le mobile et comme ressorts pour le diriger.

§ 3. FILS DE COCON ET DE QUARTZ

Le fil de cocon tel qu'il est donné par le ver à soie est composé de 2 brins agglutinés; si on ne prend pas soin de le dédoubler, l'ensemble forme un système bifilaire. Les deux brins qui ne sont pas parallèles, mais enroulés en hélice plus ou moins régulière, et à pas très allongé, peuvent être influencés différemment par l'état hygrométrique de l'air ambiant ; par suite ils donnent un couple qui dans les appareils très sensibles amène un déplacement continuel du zéro ; si, au contraire, on a eu soin de dédoubler le fil, la suspension est à peu près insensible a l'humidité ; nous n'avons jamais observé de faits dans lesquels les déplacements de zéro pouvaient être attribués sans discussion au fil de cocon simple. Pour que le couple de torsion soit aussi faible que possible, il y a intérêt à donner au fil la plus grande longueur compatible avec la construction de l'appareil.

Le couple de torsion d'un fil de cocon a, en moyenne, pour valeur

$$W_1 = \frac{0{,}005 \text{ à } 0{,}008}{l} \text{ ergs,}$$

pour un angle de 1 radiant, l étant exprimé en centimètres.

Les fils d'araignée sont plus fins que ceux des cocons, aussi pour des équipages très légers et des sensibilités extrêmes, a-t-on quelquefois recours à leur emploi. Les fils d'araignée sont simples, mais leur ténuité les rend d'un usage très délicat.

Le mode d'attache le plus géneral des fils de cocon, consiste à les passer dans un petit trou ou dans un crochet ménagé à cet effet, et de nouer le fil en s'aidant de presselles fines. Pour cette opération, afin de faciliter la vue du fil, on peut le placer sur une surface noire, ébonite, papier à aiguilles ou mieux encore sur une glace étamée en s'orientant de façon à voir celle-ci absolument noire, le fil seul étant éclairé se détache assez vivement.

On peut également fixer les fils de cocon au moyen d'une goutte de vernis épais que l'on fait sécher immédiatement en plaçant au-dessus, *sans contact immédiat*, un morceau de cuivre fortement chauffé; par le seul rayonnement, le vernis doit être porté à l'ébullition. On peut remplacer le vernis par une goutte d'arcanson chaud que l'on fait tomber au point voulu. On facilite beaucoup ce collage en fixant le fil de cocon sur la glace au moyen de deux petites boules de cire à modeler ; le fil peut être bien tendu, et en faisant le collage au milieu de la longueur, on obtient un centrage plus parfait. Il faut avoir bien

soin, quel que soit le mode d'attache employé, de couper la portion inutile du fil, au ras de l'attache, faute de quoi le brin restant peut venir s'accrocher dans l'instrument et causer des perturbations dont l'origine est très difficile à trouver.

Les fils de quartz ont été tout récemment employés par V. Boys; ils ont l'avantage indiscutable de n'être pas hygroscopiques, mais, en revanche, leur couple de torsion est *souvent* plus élevé que celui des fils de cocon; il faut, pour les expériences délicates, bien choisir le fil à employer, les diamètres et par conséquent les couples.

La fabrication des fils de quartz se fait en étirant une petite baguette de ce corps dans la flamme d'un bec de gaz; elle exige un tour de main assez difficile à obtenir, aussi il est plus simple de se les procurer chez les préparateurs de Boys qui en font couramment. La fixation se fait au moyen d'une goutte de vernis, comme nous venons de le voir pour les fils de cocon. Très précieux pour les expériences délicates, ces fils exigent des expérimentateurs une très grande habilité et sont, à ce point de vue, bien inférieurs aux fils de cocon pour les expériences courantes.

§ 4. — Fils métalliques et ressorts

Dans tous les cas où la suspension est formée d'un ou de deux fils placés dans le prolongement l'un de l'autre et *travaillant seulement à la torsion*, le système est considéré comme *unifilaire*, et on lui applique les lois de Coulomb.

Le couple de torsion d'un fil métallique est indépendant de la tension suivant son axe, tout au moins, tant que cette tension est assez faible pour ne pas modifier l'état du fil par l'allongement; il est exprimé par :

$$W_1 = k\frac{d^4}{l},$$

k, coefficient de Coulomb;
d, diamètre du fil;
l, longueur du fil;
W_1, couple correspondant à l'angle unité.

Le coefficient de Coulomb k peut être remplacé par le deuxième module de Young φ:

$$k = \frac{32}{\pi}\varphi.$$

Pour un système de deux fils placés dans le prolongement l'un de l'autre, le couple est évidemment la somme des couples de chacun des fils :

$$W_1 = k\left(\frac{d^4}{l} + \frac{d'^4}{l'}\right).$$

Un fil soumis à une tension parallèle à son axe subit un allongement; si la tension augmente, il se rompt. Cette rupture est obtenue pour chaque échantillon de métal, pour un poids proportionnel à la section de fil; le métal le plus avantageux à employer, sera celui pour lequel, à section égale, on aura le couple de torsion le plus petit et la charge de rupture la plus grande, car il est évident que, pour une tension donnée, ce fil sera le plus loin possible de sa rupture et par conséquent dans les meilleures conditions. C'est l'argent qui semble donner le plus petit rapport, aussi son emploi pour les fils de torsion est très répandu. Comme dans la plupart des cas, on ne charge les fils qu'à une tension beaucoup inferieure à leur limite de rupture, on remplace souvent l'argent par des alliages tels que le bronze d'aluminium, quelquefois l'acier, qui ont une *viscosité* moindre.

Un fil métallique qui est resté tordu pendant un certain temps et qui est abandonné à lui-même, ne reprend pas exactement sa position d'équilibre; il a gardé une *torsion résiduelle*. D'autre part, si on fait osciller un corps ayant un certain moment d'inertie, suspendu à un fil métallique, les oscillations décroissent plus rapidement que la résistance du milieu ne permet de le prévoir. Ces deux effets sont dus à des modifications internes du métal, à la *viscosité* du fil. L'inconvénient le plus sensible de cette propriété, c'est qu'un appareil muni de fils de suspension métalliques, ne revient pas exactement au zéro, lorsqu'il a subi une torsion un peu grande et

prolongée. La viscosité des fils varie pour un même échantillon avec le travail qu'on lui a fait subir ; ainsi, un fil d'argent qui a été trop chauffé en le soudant après son crochet d'attache, peut avoir une torsion résiduelle très considérable, susceptible de troubler complètement les mesures. En général, il faut toujours prendre un fil écroui de préférence à un fil recuit, bien que dans ce cas le coefficient de torsion soit un peu plus élevé.

Les coefficients k et φ varient avec la température, ils diminuent quand la température s'élève ; en même temps la dilatation linéaire augmente toutes les dimensions des fils ; il en résulte une variation du couple total, qui peut être représentée par la formule

$$W_t = W_0(1 - \alpha t);$$

pour les métaux usuels, α varie entre 0,0004 et 0,0005 par degré.

Le tableau suivant renferme les valeurs des coefficients k, φ et E pour quelques métaux et alliages, ainsi que la charge de rupture T. Le coefficient E, appelé coefficient d'allongement ou premier module de Young, entre dans la plupart des formules de ressorts comme nous le verrons plus loin.

Les valeurs de ce tableau ne peuvent être prises que comme première approximation ; elles diffèrent totalement d'un échantillon à l'autre ; aussi lorsqu'on a besoin de connaître le couple de torsion d'un fil de *nature* et de *diamètre* donnés, vaut-il mieux recourir à une détermination directe ; l'observation montre que le même échantillon de métal donne étiré à des diamètres différents, c. à. d. pour des écrouissages divers, des coefficients très différents.

Tous les chiffres de ce tableau, sauf ceux marqués de (*) ou (**) sont empruntés à M. Mascart et traduits en unités c. g. s. Les autres résultent d'expériences personnelles.

	k	φ	E	T	$\underline{E}$	ρ microhms cm
Aluminium	$25{,}5 \times 10^9$	260×10^9	660×10^9	?	2,54	
(*) Argent	26 à 42	280 à 428	728 à x ?	$2{,}9 \times 10^9$	2,72	
Or	27	276	798	2,65	2,89	
Laiton ?	33,7	344	969	3,36	2,78	
2 Argent + 1 Platine	35,6	363	1 030	?	2,83	
Cuivre	42,5	433	1 177	4,14	2,72	
Maillechort ?	47,4	484	1 275	?	2,63	
Platine	66,6	680	1 460	3,43	2,14	
Fer	74,4	758	1 860	6,27	2,45	
(*) Acier	53 à 55	540 à 560	?	?		12,4 à 13,6
(**) Bronze d'Aluminium ?	41 à 53	420 à 540	1 400	?	3,32 ?	4,15 à 4,67

(*) Echantillons de provenances différentes, pour l'acier l'écart très faible est dû au petit nombre d'échantillons essayés.

(**) Même échantillon étiré à des diamètres différents.

Fixation des fils métalliques. — L'un des moyens les plus sûrs, qui ne demande qu'un petit tour de main, consiste à munir les points d'attache de petits crochets en laiton, convenablement fixés eux-mêmes ; on enroule le fil autour de ces crochets en lui faisant faire un tour (fig. 8 I), et le repliant sur lui-même, on soude le tout à l'aide de *soudure à l'étain* ordinaire, en chauffant le point *a* au moyen d'un petit fer à souder et après avoir mis sur le point de jonction une goutte de résine dissoute dans l'éther ; il ne faut sous aucun prétexte employer de sel ammoniac ou de chlorure de zinc pour décaper les parties à souder, ces sels laissent toujours des traces qui en quelques jours peuvent attaquer et mettre hors d'état la soudure.

Dans certains cas on fixe les fils au moyen d'attaches à vis, les systèmes employés sont très divers, la figure 8 II représente l'un des

meilleurs. Ce qu'il faut toujours obtenir c'est que le prolongement du fil passe bien par le centre de gravité du mobile ; lorsqu'il n'y a qu'un seul fil on reconnaît que cette condition est remplie au centrage parfait du mobile. Lorsqu'il y a 2 fils, il suffit d'incliner très légèrement l'appareil dans tous les sens, le mobile se déplace *parallèlement* à lui-même, mais ne tourne pas quelque soit l'inclinaison donnée à l'appareil. Dans des attaches de ce genre, il faut aussi que le point de fixation soit très près du bord de la pièce, de façon à ce que le fil de suspension ne vienne pas frotter sur cette pièce ; le frottement pourrait arrêter le mobile dans une position différente de celle d'équilibre.

Suspension bifilaire. — Une masse M, suspendue par deux fils de longueur l, dont la distance supérieure est a, la distance inférieure b et dont la bissectrice AB passe par le centre de gravité, est soumise à un couple proportionnel au sinus de l'angle de déviation :

$$W_1 \sin \alpha = \frac{ab}{l} M g \sin \alpha;$$

cette équation suppose que la rigidité des fils est nulle, en réalité elle est très petite et comme on n'emploie jamais la suspension bifilaire pour les mesures absolues très précises, on peut se contenter de cette approximation.

La suspension bifilaire a l'avantage d'être assez peu sensible aux variations de température et d'être réglable à volonté ; en effet, on peut sans changer la longueur l, ni l'écartement b des points d'attache sur la masse M, grandeurs qui sont réglées par construction, faire varier la distance a. C'est ainsi qu'on procède ordinairement dans les appareils munis de suspensions bifilaires ; l'écart a peut être réglé au moyen d'une vis micrométrique ou d'un rappel quelconque à mouvement lent.

Bien que nous ayons placé ici la suspension bifilaire parmi les suspensions métalliques, il faut rappeler que l'on emploie tout aussi fréquemment les fils de cocon pour la réaliser.

Un point très important en pratique doit être noté ici, il faut avant de monter une suspension bifilaire, avoir bien soin de laisser le fil se *détordre* complètement, faute de quoi la torsion résiduelle amène des déplacements de zéro très importants. Le moyen à employer est des plus simples, il consiste à suspendre après le fil une petite masse non magnétique. Ce n'est qu'après avoir constaté que le fil est complètement détordu, qu'on peut procéder au montage, en prenant toutes les précautions nécessaires pour éviter une nouvelle torsion.

D'un emploi peu fréquent dans les appareils industriels, la suspension bifilaire est en usage surtout dans les appareils qui servent à l'étude du magnétisme terrestre.

Ressorts. — Dans un grand nombre d'instruments, plus particulièrement dans les appareils industriels, on emploie des ressorts pour produire le couple de torsion. Le mobile est alors porté soit sur des pivots, soit suspendu par un fil de cocon, ou un fil composé de plusieurs brins, mais dont le couple de torsion est négligeable devant celui du ressort ; enfin dans quelques instruments, les ressorts eux-mêmes portent le mobile, ces ressorts travaillent alors à l'allongement et à la torsion.

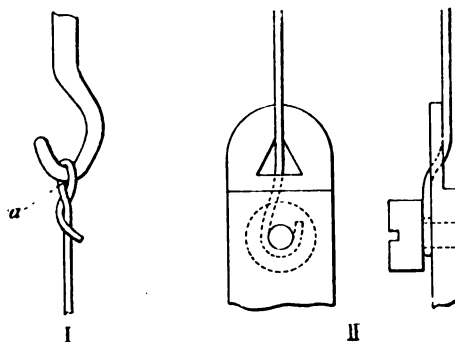


Fig. 8.

Ressorts spiraux. — Les ressorts spiraux et hélicoïdaux donnent, tant qu'on ne dépasse pas leur limite d'élasticité, des couples proportionnels aux angles de torsion.

Pour les ressorts spiraux, le couple W_1 pour l'angle unité est.

$$W_1 = \frac{E}{12} \frac{b h^3}{l}$$

E, coefficient d'allongement ;

b, largeur de la lame, mesurée *parallèlement à l'axe de rotation ;*

h, épaisseur de la lame, mesurée *suivant le rayon ;*

l, longueur développée de la lame.

Ces ressorts font l'objet d'une fabrication spéciale, il est rare qu'on ait à faire usage de la formule, on a plus vite fait de choisir chez les fabricants, le modèle qui convient et de l'essayer.

Ressorts hélicoïdaux. — Il n'en est pas de même pour les ressorts hélicoïdaux, ceux-ci sont presque toujours faits spécialement pour les appareils et il est bon de calculer au moins approximativement les dimensions à leur donner pour s'éviter de trop longs tâtonnements.

Le fil ou la lame d'un ressort hélicoïdal soumis à l'action d'un couple travaille à la *flexion*; si sa section est rectangulaire, le couple W_1 a la même valeur que précédemment :

$$W_1 = \frac{E}{12} \frac{b h^3}{l};$$

si la section du fil est circulaire et le diamètre d

$$W_1 = \frac{\pi}{64} E \frac{d^4}{l};$$

le même fil redressé travaillant directement à la *torsion* dans une suspension unifilaire, aurait donné un couple :

$$W'_1 = \frac{\pi}{32} \varphi \frac{d^4}{l},$$

c'est à dire en tenant compte de la relation *approximative* entre E et φ

$$W'_1 = \frac{\pi}{80} E \frac{d^4}{l}.$$

Le couple W_1 est donc un peu plus fort que W'_1, mais il faut remarquer à l'avantage des ressorts, que ceux-ci permettent d'employer une longueur de fil beaucoup plus grande ; en effet pour réaliser la transformation ci-dessus, il aurait fallu employer la même longueur de fil l, ce qui aurait conduit à une suspension d'un longueur démesurée.

On remarquera en outre que dans ces équations, n'entre pas le rayon R d'enroulement de l'hélice ; on peut donc augmenter celui-ci de façon à obtenir pour une hauteur totale de ressort donnée, la plus grande longueur possible ; il n'y a là que des limites pratiques, il faut que les spires soient assez rigides pour ne pas tomber les unes sur les autres.

Enfin un grand avantage à revendiquer en faveur des ressorts, c'est que ceux-ci permettant d'employer des longueurs beaucoup plus grandes de fil ; ce dernier travaille d'autant plus loin de sa charge de rupture et par suite les déformations permanentes sont moindres ; en choisissant bien les dimensions des ressorts, on arrive à n'avoir plus de torsion résiduelle.

Quand le ressort sert en même temps à la torsion et à suspendre le mobile, il faut l'enrouler sur un diamètre tel que son allongement ne soit pas trop grand ; le déplacement de l'extrémité libre d'un ressort fixé par un bout et portant à l'autre un poids P, est :

$$f = \frac{32}{\pi} \frac{P R^2}{\varphi} \frac{l}{d^4},$$

cet allongement est indépendant de la longueur du ressort au repos, pourvu qu'à ce moment les spires ne soient pas au contact, c'est à dire qu'il n'y ait pas de tension initiale. Pour déterminer un ressort de ce genre, il faut procéder par tâtonnement et ne se servir de la formule que pour modifier le diamètre d'enroulement, car il est à peu près impossible de prévoir la longueur *réduite* du ressort au repos, cette longueur variant avec la tension pendant l'enroulement et l'angle que fait le fil avec le mandrin ; d'autre part on a intérêt à garder la tension initiale du ressort qui permet, à longueur développée égale, de porter un plus grand poids.

Comme première approximation, on peut supposer la longueur réduite égale à :

$$l_1 = n d,$$

n nombre de spires du fil de diamètre d.

Etant donné la hauteur h, dont on dispose pour placer le ressort, on devra avoir :

$$h_1 = l_1 + f.$$

Les ressorts servant à la fois à la torsion et à la suspension sont généralement enroulés sur un diamètre assez petit et fixés à leurs attaches par une soudure à l'étain; il faut avoir soin en faisant cette soudure de ne pas chauffer trop les spires voisines, ce qui les déformerait.

Les ressorts qui ne servent qu'à la torsion peuvent avoir un diamètre d'enroulement beaucoup plus grand, on les fixe généralement par des vis ; la suspension se fait au moyen de fils de cocon placés suivant l'axe de l'hélice.

Il ne faut pas oublier que les ressorts, surtout lorsqu'ils sont appelés à subir des torsions de 180 ou 360°, doivent être parfaitement centrés. faute de quoi, ils impriment au mobile, à la fois un mouvement de rotation et un de translation ; le résultat est d'augmenter ou de diminuer l'angle de déplacement apparent du mobile et de faire que les couples ne sont plus proportionnels aux angles de torsion mesurés. On produit ce centrage en déformant les extrémités à l'aide de presselles.

La constance des ressorts a été très discutée ; il ne semble pas qu'aujourd'hui encore les idées soient parfaitement fixées sur ce sujet ; dans les expériences que nous avons eu l'occasion de faire, nous n'avons jamais rencontré de cas où des variations puissent être attribuées aux ressorts.

(A suivre)

H. Armagnat

SUR L'HYSTÉRÉSIS DIÉLECTRIQUE VISQUEUSE

Le phénomène mis par moi en évidence, de la rotation d'un cylindre diélectrique dans un champ électrique tournant (1), et les résultats de mes expériences sur la dissipation de l'énergie qui se produit dans un diélectrique soumis à l'action d'un tel champ (1) démontrent l'existence d'un retard entre la rotation de la polarisation du diélectrique et celle du champ tournant.

Deux espèces de retard peuvent produire la dissipation d'énergie observée : ou un retard dans la variation de la constante diélectrique par suite duquel celle-ci prendrait des valeurs plus petites pour un champ électrique d'intensité croissante que pour un champ d'intensité décroissante ; ou un retard de temps entre l'instant de l'application de la force électrique et celui où la polarisation du diélectrique atteint sa valeur correspondante (2).

A cette seconde espèce de retard, que l'on peut appeler *hystérésis diélectrique visqueuse*, semble due, au moins en partie, la dissipation d'énergie qui a lieu dans un diélectrique soumis à l'action d'un champ électrique alternatif. Ceci résulte particulièrement :

1° Des expériences de Northrup (3) qui démontrent que les valeurs du pouvoir inducteur spécifique d'un diélectrique soumis à l'influence d'un champ électrique variant suivant un cycle fermé dépendent de la rapidité avec laquelle s'effectue la variation du champ;

2° Des expériences de Janet (4) et de Porter et Morris (5) sur des condensateurs soumis à de rapides et à de lentes oscillations électriques : pour une valeur donnée de la différence

(1) *Rendi conti della R. Acc. dei Lincei*, 16 octobre 1892 p. 275. *La lumière Électrique*, t. XLVI, p. 537, 10 décembre 1892.

(1) *Idem.* 30 avril et 12 novembre 1893, 18 mars, 17 juin et 18 novembre 1894. *La Lumière Électrique*, t. XLIX, p. 92, 15 juillet 1893 *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 160, 26 janvier 1895.

(2) Voir à ce sujet l'article de M. Hess. *Sur la question de l'hystérésis diélectrique*, dans l'*Éclairage Électrique*, t. IV, p. 205 ; 3 août 1895. (N.D.L.R).

(3) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 78; jan. 1895. *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 515; 16 mars 1895.

(4) *Comptes rendus*, t. CXVI, p. 373 ; 20 février 1893. Voir dans l'*Éclairage Électrique*, l'article de M. Hess, déjà cité, t. IV, p. 206.

(5) *Procedings of the Royal Society*, t. LVI. *The Electrician*, 12 avril 1895. *L'Éclairage Électrique*, t. IV p. 208; 3 août 1895.

de potentiel entre les armatures des condensateurs étudiés la charge est, dans le premier cas, plus petite quand la différence de potentiel est croissante que quand elle est décroissante, tandis que dans le second cas, la charge est la même, que la différence de potentiel donnée soit atteinte par des valeurs croissantes ou décroissantes.

3° Des expériences de Eisler (¹) qui mettent en évidence l'influence de la fréquence d'une différence de potentiel alternative donnée sur la perte de travail par cycle dans le diélectrique d'un condensateur, et montrent que cette perte, pour des fréquences croissantes, commence par croître, atteint un maximum et décroît ensuite.

Les expériences, dont je me propose de résumer les résultats dans cette note, furent entreprises dans le but de vérifier si la dissipation d'énergie dans un champ électrique tournant doit être attribuée, en tout ou en partie, au phénomène de l'hystérésis diélectrique visqueuse comme dans le cas d'un champ alternatif.

L'effet de l'hystérésis visqueuse est, pour un champ électrique tournant, fonction de la vitesse de rotation de ce champ; par conséquent, pour établir l'existence d'un tel phénomène il suffira de soumettre un diélectrique à l'action d'un champ tournant dont on maintiendra l'intensité constante et dont on pourra faire varier la vitesse de rotation.

Pour produire le champ tournant je me suis servi dans ces expériences, comme dans mes expériences antérieures, de la composition de deux champs électriques alternatifs d'égale intensité, perpendiculaires l'un à l'autre et présentant une différence de phase de 90°, obtenus au moyen d'un courant alternatif simple (²). La durée d'une rotation du champ résultant étant alors égale à la période du courant alternatif, il suffit pour modifier cette durée de faire varier la fréquence du courant en maintenant dans toutes les expériences les intensités des deux champs composants constantes et égales.

Dans le tableau suivant sont indiqués les résultats des expériences faites au moyen de l'appareil décrit dans la Note antérieure rappelée ci-dessus. Ils correspondent aux deux valeurs 0,083 et 1,818 unités électrostatiques C G S de l'induction électrostatique B s'exerçant sur un cylindre creux de paraffine ayant une masse de 2,011 gr, une hauteur de 26 mm, un diamètre externe de 30 mm et une épaisseur de 1 mm. Dans la seconde colonne sont indiquées les valeurs de la fréquence *n* du courant alternatif et dans la troisième les valeurs en millimètres de la déviation *d* observée avec une lunette.

N°		*n*	*d*
I	1	44	5,5
	2	22	9,5
B = 0,083	3	11	13,5
II	4	44	59
	5	22	87
B = 1,818	6	11	129

La déviation *d*, à laquelle est proportionnel le travail en ergs pour chaque cycle accompli par la force électrique déviatrice, a été observée avec deux sensibilités différentes de l'appareil dans les deux séries d'expériences.

Ces résultats montrent que l'énergie dissipée pour chaque cycle dans le cylindre diélectrique varie avec la vitesse de rotation du champ. Par conséquent cette dissipation d'énergie est due, au moins en partie, à l'effet de l'hystérésis diélectrique visqueuse dans le diélectrique étudié.

RICCARDO ARNO,
Professeur au Musée royal industriel de Turin.

(¹) *Zeitschrift fur Electrotechnik*, 15 juin 1895. — *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 210; 3 août 1895.

(²) *R. d. R. Acc. dei Linc.* 16 octobre 1892, p. 285. — *La Lum., Élect.*, t. XLVI, p. 537; 10 décembre 1892.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Commutateur automatique Hopkinson (1895).

Ce commutateur, spécialement étudié pour le chargement des accumulateurs fonctionne comme il suit :

Soit, par exemple, une batterie de 60 accumulateurs, dont le premier est relié directement à la dynamo chargeante, reliée, d'autre part au 56° accumulateur actuellement en chargement. Les bras 34 et 35 (fig. 3) d'un petit commutateur auxiliaire calés sur l'axe F du commutateur principal seront reliés respectivement au 55° et au 56° accumulateur et exciteront par leurs connexions 37 39, 36 38 l'électroaimant S (fig. 4) proportionnellement au potentiel de l'accumulateur n° 56. Quand ce potentiel atteint la valeur voulue, S, attirant

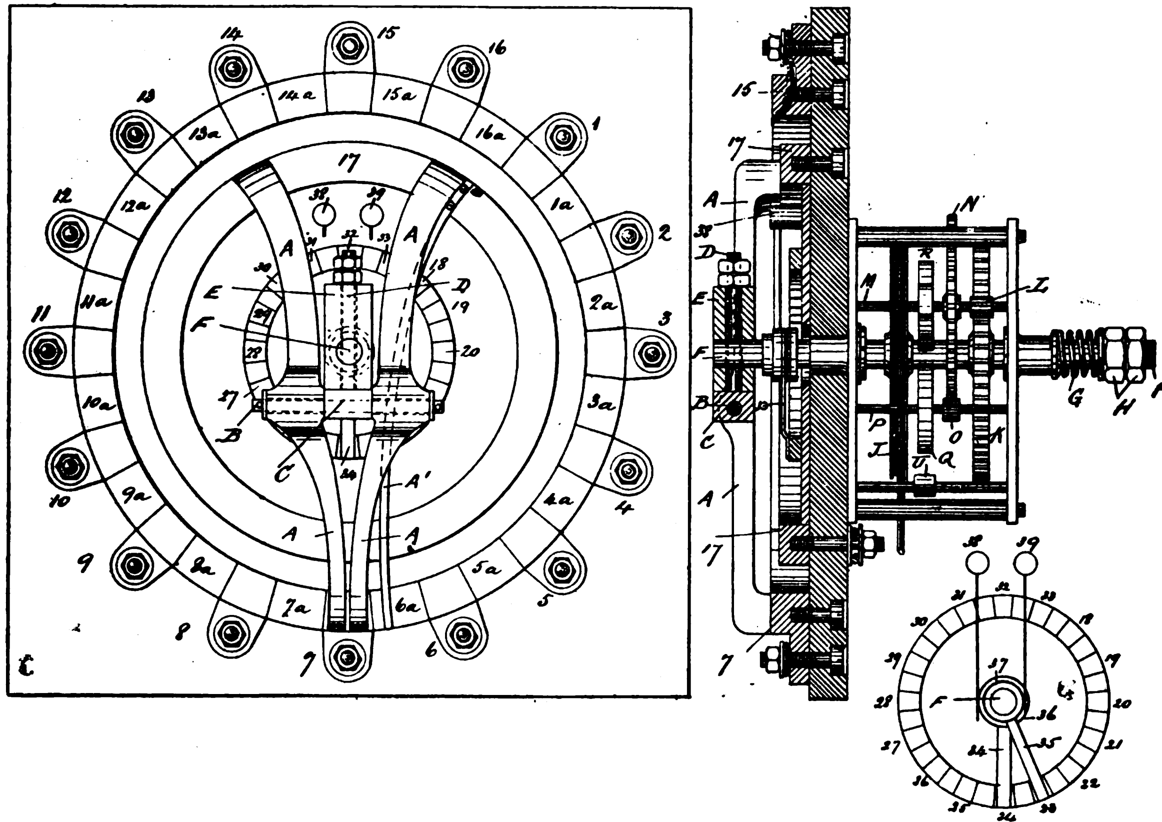
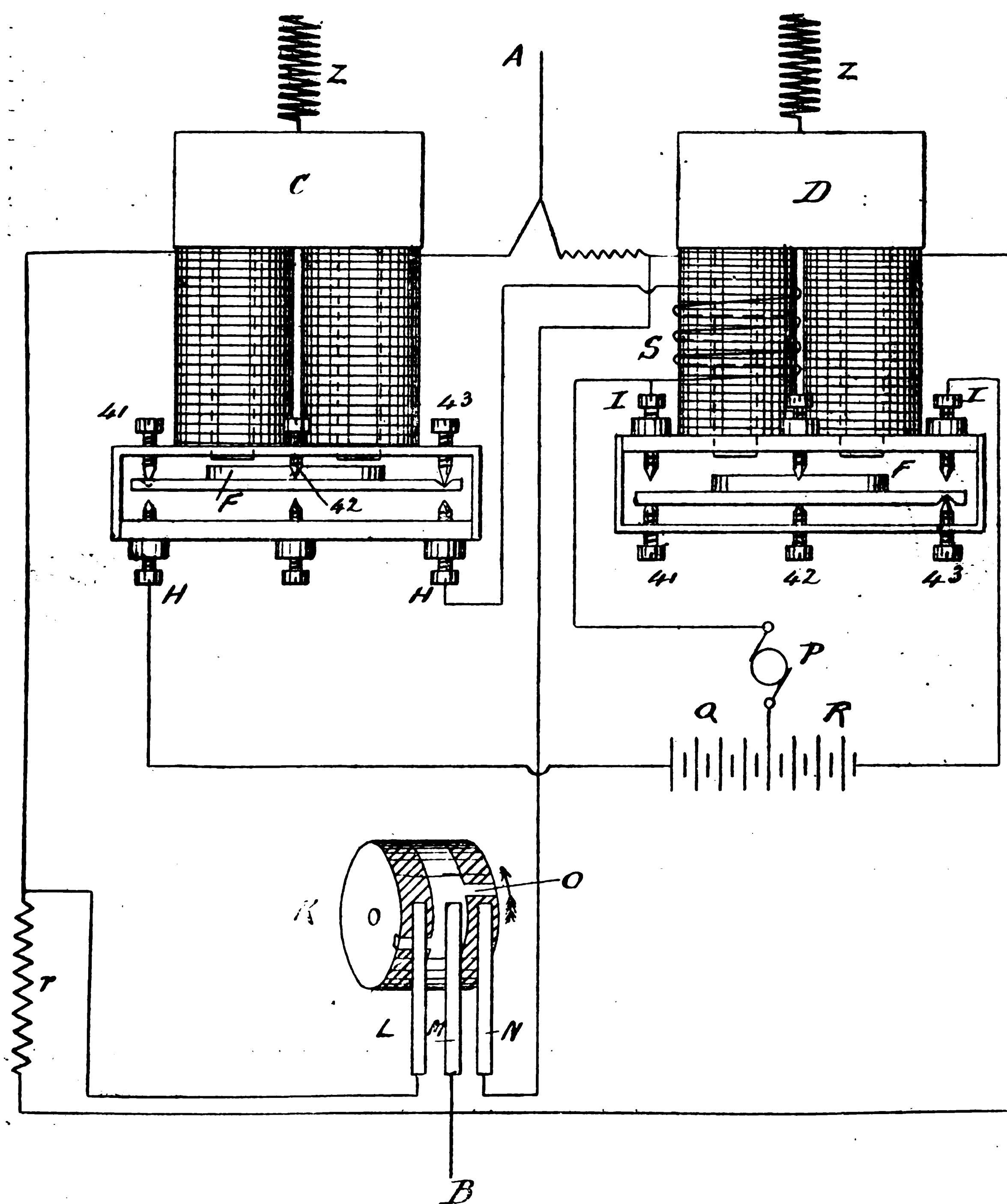


Fig. 1, 2 et 3. — Commutateur automatique Hopkinson (1895).

le levier U V, déclanche en XY la roue R du train LKJ, sollicité en J par un poids, et qui entraîne alors le commutateur principal A par son arbre F, ainsi que les bras 34 35 du commutateur auxiliaire, lesquels rompent le circuit de manière que U, lâché par S, renclanche X et arrête le commutateur après un tour de R : on passe ainsi automatiquement à l'accumulateur suivant.

Les deux bras A A du commutateur principal appuyés sur l'anneau 17, relié à l'un des pôles de la dynamo, et sur les contacts 1, 2... des différents accumulateurs sont articulés en B (fig. 1) de manière à égaliser leurs quatre appuis, et reliés à une touche auxiliaire A_1, de grande résistance pour éviter la mise en courtcircuit des accumulateurs quand A passe d'un contact à l'autre. L'armature T de l'électro S



g. 6. — Commutateur automatique Hopkinson.

suspendu à un ressort *r*, amortisseur des vibrations, repose sur trois pointes 41, 42, 43 (fig. 5) par un point un cône et une gorge, assurant son repérage constant à chaque retombée sans nuire à la liberté de ses mouvements et permettant d'en régler la distance à S au repos.

En figure 6 on a supposé le commutateur actionné, non par un poids, mais par une dynamo, et désigné par A et B les points entre lesquels il faut assurer un potentiel donné. Les électros C et D font tourner le commutateur l'un pour ajouter un élément, quand le potentiel de la batterie est trop faible, et l'autre pour en retrancher quand ce potentiel est trop élevé. A cet effet, quand l'armature T de C tombe sur H H, elle relie la pile Q à l'électromoteur P de manière qu'il tourne dans un certain sens tandis que l'attraction de F sur I I le fait tourner en sens contraire par P; en outre, le circuit de C passe autour

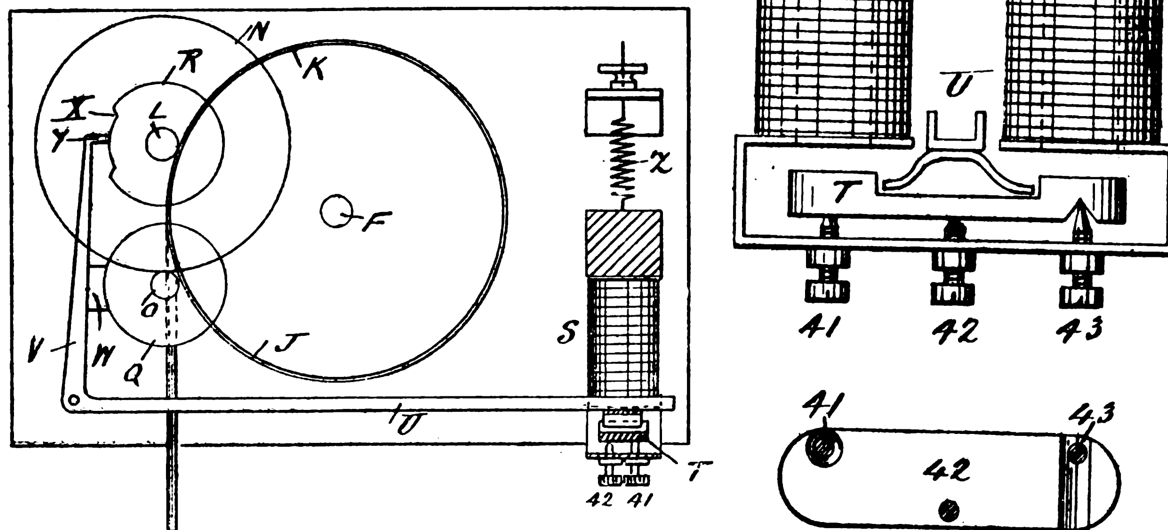


Fig. 4 et 5. — Commutateur automatique Hopkinson (1895).

de D par un enroulement supplémentaire en opposition S, de sorte l'excitation de C diminue le magnétisme de D, qui ne peut ainsi jamais fonctionner en même temps que C. Enfin, le commutateur K, commandé par le commutateur principal fait un tour par cran de ce dernier, dans le sens de la flèche pour exciter D afin de supprimer des accumulateurs, après quoi, O mettant M et E en court-circuit, D lâche F. Au contraire, si le nombre des accumulateurs devient trop petit, C lâchant son armature, fait tourner K en sens contraire de la flèche, jusqu'à ce que sa seconde barre O, rétablissant son circuit par L M, lui fait réattirer son armature et arrêter le commutateur.

G. R

La fabrique d'aluminium de Foyers

Une usine destinée à la production de l'aluminium est en cours d'installation à Foyers où la British Aluminium Company, à qui

appartient cette usine, a acheté le droit d'utilisation de l'eau des chutes importantes de la rivière Foyers et en outre une très grande étendue de terrains qu'elle veut transformer en un immense réservoir naturel destiné à recueillir l'eau des pluies, très fréquentes dans cette région, et aussi le trop plein des crues de la rivière provoquées par la fonte des neiges en hiver et les pluies abondantes des orages en été.

Ce réservoir naturel servira à équilibrer les niveaux de deux cours d'eau « rivers Foyers » et « rivers Gourag » entre lesquels il est situé, en même temps qu'à compenser les baisses de niveau et à régler l'admission de l'eau dans un second réservoir en cas d'insuffisance de celle des deux rivières où se trouve le canal d'alimentation. Ce second réservoir est construit avec des blocs de granit cimentés et reçoit l'eau de « rivers Foyers » par un canal souterrain dont l'autre extrémité est située au-dessus de la première chute ; l'eau y est admise par 5 vannes qui peuvent s'ouvrir ou se fermer séparément.

Le canal creusé dans un calcaire très dur est cimenté intérieurement ; son diamètre est de 2,50 m dans toute sa longueur ; plusieurs conduits de décharges ont été installés sur son parcours afin de pouvoir détourner l'eau en cas de besoin pour procéder à une réparation ou une visite. Si, en cas d'une crue élevée, comme il arrive fréquemment, l'eau dépasse le niveau voulu pour l'alimentation du canal, le trop plein déverse l'excès d'eau dans le réservoir naturel, qui, à son tour, rétablira le niveau d'eau de la rivière quand celui-ci s'abaissera, de sorte que le canal aura toujours un débit constant et régulier.

Le réservoir en maçonnerie qui reçoit les eaux du canal est situé à environ 105 m audessus du niveau du sol où sont installées les turbines. L'eau est conduite à ces dernières par 8 conduites se composant de tuyaux en fonte de 75,90 cm de diamètre près du réservoir de 50,60 cm de diamètre près des turbines ; cette différence de diamètre est obtenue en deux portées seulement. Chaque conduite est munie d'une vanne à chaque extrémité : une au réservoir, qu'un gardien prévenu par téléphone peut ouvrir ou fermer selon les besoins de l'usine, et l'autre aux turbines mêmes. De ces 8 conduites, une, d'un diamètre moins grand, est destinée à alimenter une turbine de 50 chevaux actionnant les machines devant servir à l'éclairage de l'usine, et aussi au transport de force et à l'éclairage de différents hôtels situés dans les environs. Le village qui est sur le point d'être construit pour le personnel de l'usine sera également éclairé à l'électricité.

Les turbines sont du modèle Escher et Wyss à arbre vertical. La partie inférieure de chacun des arbres repose sur une coupole en acier trempé. La manœuvre des turbines s'opère avec un volant à main placé sur la droite, et celle des vannes par un levier placé sur la gauche de chaque turbine.

Cinq grandes dynamos multipolaires Oerlikon sont couplées directement aux arbres des turbines et produisent chacune 7 500 ampères et 64 volts avec 150 révolutions par minute.

La puissance de 480 kilowatts de chaque dynamo est garantie par les constructeurs qui, en outre, se sont engagés à ce que chaque machine puisse fonctionner pendant 7 jours consécutifs à pleine charge sans étincelles aux balais, même avec des variations brusques dans la marche, et sans qu'il y ait échauffement des pièces.

La disposition des dynamos offre un intérêt particulier. L'inducteur de chacune d'elles est supporté par des colonnes d'environ 2,50 m et porte intérieurement 24 pôles en fer forgé avec leurs enroulements qu'un dispositif établi à la partie supérieure de la dynamo permet de mettre en place ou de retirer aisément de l'anneau circulaire. Le fer de ces pôles a été soumis à un martelage énergique, afin de pouvoir le porter a un point de saturation pouvant neutraliser les effets de magnétisation de l'armature à des charges variées.

L'armature est formée de bandes cylindriques en fer doux soudées ensemble et a

un diamètre extérieur de 2,40 m. L'enroulement est celui du type multipolaire en tambour avec lames connectrices parallèles. Un système de connexions placé entre deux lames de même polarité sert à égaliser les courants produits dans chacune des bobines correspondantes et aussi à empêcher ces courants de traverser les différentes sections de l'enroulement, dans le cas où le voltage des courants produits dans ces sections serait inégal. Les lames connectrices sont fixées sur la périphérie de l'armature où elles y sont maintenues par trois bandes de cuivre percées de nombreux trous par où passent les lames, recouvertes à cet endroit d'un isolant supplémentaire. Cette disposition permet de supprimer les attaches servant à maintenir les lames en place, malgré l'effet de la force centrifuge; néanmoins, pour plus de sécurité, on a adopté les attaches malgré les bandes de maintien, car la vitesse étant de 11,250 m par minute, l'effet de la force centrifuge est très considérable.

Le collecteur a 1,80 m de diamètre et 38 cm de large; il est composé de 216 segments en bronze dur isolés au mica. A ce collecteur sont adjoints deux autres collecteurs qui établissent les connexions avec l'armature, de sorte que le collecteur principal peut être facilement démonté ou remplacé sans affecter l'enroulement. Un point intéressant pour ces dynamos à grande intensité est le dispositif des balais. Ce dispositif consiste en un support en fonte qui occupe le bas de la machine; deux solides anneaux en cuivre fixés à la partie supérieure du support, portent chacun 12 tiges en cuivre, isolées à leurs points d'attache; chacune de ces tiges se termine par un porte-balai qui se trouve dans l'axe du collecteur et en face ce dernier. Les balais, au nombre de 5 par tige, soit en tout 120 balais, sont maintenus par des écrous qui servent en même temps à régler leur pression sur le collecteur.

L'aluminium sera obtenu dans cette usine d'après le procédé Héroult. Ce procédé, déjà connu de nos lecteurs, consiste à fondre l'alumine purifiée dans un four électrique et à la transformer en aluminium par l'action de l'électrolyse.

Les fours qui seront employés consistent en un récipient en fer, doublé intérieurement de charbon constituant la cathode; ce récipient porte à sa partie inférieure une ouverture servant à l'évacuation du métal en fusion et à la partie supérieure une seconde ouverture livrant passage à l'anode. Celle-ci est formée de charbons plats réunis par un cadre mobile en cuivre qui reçoit les câbles conducteurs; elle est maintenue, dans sa partie supérieure, par une mâchoire métallique à laquelle est fixée une barre transversale supportée en son centre par un montant vertical; un contrepoids fixé à l'autre extrémité de la barre constitue un mouvement à bascule qui permet de régler aisément le mouvement de descente de l'anode, à mesure que celle-ci se consume.

L'opération commence en mettant quelques fragments de cuivre dans le four; l'anode est alors rapprochée et le courant établi : l'arc obtenu fond immédiatement le cuivre. Le minerai d'aluminium est alors ajouté et bientôt fondu à son tour; ce dernier reste à la surface, le cuivre en fusion plus lourd demeure dans le fond du four et constitue le pôle négatif. L'aluminium obtenu est coulé de temps en temps dans des moules et est remplacé par une nouvelle charge de minerai. La pratique enseigne que la distance de l'anode à la cathode doit être relativement faible à cause du peu de conductibilité du minerai en fusion qui les sépare et que la résistance de ce dernier jointe à celle de l'arc donne lieu à un dégagement de chaleur plus grand qu'il n'est nécessaire pour réduire l'alumine. Une certaine résistance est nécessaire pour fondre le minerai, mais il est peu économique de la prendre trop grande car la séparation du métal avec l'oxygène a lieu principalement sous l'influence de l'action électrolytique et non celle d'une température élevée.

En pratique la distance entre l'anode et le pôle négatif n'excède pas 3 millimètres. L'ou-

vrier chargé de surveiller l'opération règle la descente de l'anode d'après les indications de l'ampèremètre.

L. D.

Statistique des stations centrales en Allemagne.

Le nombre des stations centrales en Allemagne s'élevait d'après l'*Elektrotecnische Zeilschrift* à 180 au 1er octobre 1895 : à la même époque de l'année précédente il n'était que de 148. On pourrait dire sans trop exagérer qu'à l'heure actuelle l'Allemagne possède au moins 200 stations centrales en exploitation.

D'après les chiffres se rapportant à l'époque du dernier recensement, le courant continu paraît être plus en faveur dans cette contrée que le courant alternatif ; le premier en effet représente 80 pour 100 du nombre des stations et 74 pour 100 de la capacité totale. Il paraît singulier qu'en Allemagne, où le courant alternatif a reçu les premières applications industrielles il y a plus de cinq ans, le courant alternatif n'ait pu primer le continu. La faveur que possède le courant continu résulte peut-être de ce que environ 73 pour 100 des stations ont été munies de batteries d'accumulateurs d'une capacité totale équivalant à 30 pour 100 de l'énergie mécanique.

Le nombre des usines produisant les courants alternatifs monophasés paraît devoir rester stationnaire. Il n'en est pas de même pour les courants polyphasés car le nombre des stations produisant ces derniers, tout d'abord inférieur à celui des stations à courants monophasés, s'est rapidement élevé et l'énergie électrique produite par courants polyphasés est maintenant plus grande que celle que produisent les courants monophasés.

Le tableau suivant permet de comparer d'un façon plus précise le développement des différents systèmes, la première se rapportant à l'année 1894, la seconde à l'année 1895.

Courant continu		
Nombre de stations........	120	139
Capacité totale en kw......	468	35 166
Courant alternatif		
Nombre de stations.........	15	16
Capacité totale en kw......	4 208	4 396
Courant polyphasé		
Nombre de stations........	8	12
Capacité totale en kw......	2 858	4 468
Courant continu et polyphasé		
Nombre de stations........	2	4
Capacité totale en kw......	646	1 746
Courant continu et alternatif		
Nombre de stations........	3	2
Capacité totale en kw......	175	115

Plus de la moitié des stations énumérées ci-dessus ont une capacité ne dépassant pas 100 kilowatts, mais cette capacité est notablement augmentée par l'emploi de batteries d'accumulateurs.

Mode de production. — Dans la force motrice employée pour actionner les générateurs de courant, la vapeur à elle seule représente 55 pour 100 en nombre et 82 pour 100 de la puissance totale fournie aux stations. L'énergie hydraulique figure pour 23 pour 100 du nombre des stations, mais comme les stations employant ce genre de force motrice ne sont que d'une capacité inférieure à 100 kilowatts, la capacité totale des stations hydrauliques ne représente guère plus que 10 pour 100 de celle de toutes les stations réunies.

Malgré la faveur qu'ont en Allemagne les moteurs à gaz appliqués à la production de courant, le chiffre des stations utilisant ces moteurs n'est que de 5 dont la capacité totale n'est que de 265 kilowatts.

Appareils d'utilisation. — Le nombre des lampes de 50 watts s'est accru de 493 000 à 603 000, soit environ 22 pour 100, dans le cours de l'année 1895 ; celui des lampes à arc de 100 ampères est passé de 12 357 à 15 396, soit environ 24,5 pour 100 d'augmentation. On voit que l'augmentation des lampes à arc a été pour le cours de l'année notablement supérieure à celle des lampes à incandescence.

De tous les appareils d'utilisation de l'énergie électrique, les moteurs peuvent se placer au premier rang dans la voie du progrès. Le

nombre de chevaux électriques représentant la capacité totale des moteurs de différentes puissances s'est accru de 5635 en 1894, à 10254 en 1895, soit environ 82 pour 100. Quoique cette augmentation soit en partie due aux nombreuses lignes de tramways électriques, les chiffres que nous donnons ne sont pas moins une preuve d'un développement notable de l'emploi de l'énergie électrique comme force motrice en Allemagne.

L. D.

Dispositif de mise en marche pour distribution à trois fils, par H. M. Kellog.

Dans les distributions à trois fils, il arrive parfois que la polarité d'une des génératrices s'intervertit au moment de la mise en marche, ce qui cause de graves inconvénients. Pour éviter cet accident M. H. M. Kellog a

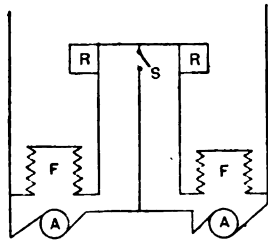


Fig. 1.

adopté le dispositif suivant qu'il décrit dans l'*Electrical World*, et qui a donné des résultats très satisfaisants.

Il consiste à relier les inducteurs F et les rhéostats d'excitation R en série l'un avec l'autre entre les branches extrêmes du réseau ; un commutateur est placé entre les rhéostats ; il permet de relier le fil neutre en ce point.

Au moment de la mise en marche, on ouvre le commutateur qui est ensuite fermé pour permettre de régler convenablement le voltage. Grâce à ce dispositif très simple on n'a jamais eu à constater une seule inversion de polarité.

G. P.

La traction électrique sur la ligne du chemin de fer de Baltimore and Ohio, par Lee H. Parker (1).

Nous avons décrit les installations électriques du tunnel de Baltimore, lors de leur inauguration (1). Depuis cette époque, l'exploitation s'est faite par l'électricité avec la plus complète régularité et de nombreuses expériences ont permis d'établir plus complètement les conditions de fonctionnement de la locomotive électrique et le prix de revient de la traction électrique.

Rappelons d'abord les raisons qui ont déterminé la Compagnie des Chemins de fer de Baltimore and Ohio à construire le tunnel et à adopter la traction électrique.

Les anciennes voies ferrées aboutissaient aux deux rives de la rivière Patapsco (fig. 1), trop large en cet endroit pour qu'on put y établir un pont. Suivant une méthode très employée en Amérique. les trains étaient donc aiguillés sur des bateaux dont le pont est muni de rails et qui sont connus sous le nom de *Ferrys*. Après la traversée en bateau le train continuait son voyage sur la voie ferrée dont les rails sont en alignement avec ceux du ferry. Cette manœuvre longue et coûteuse est évitée depuis que le tunnel permet de faire traverser la ville aux trains et de gagner ainsi la ligne de ceinture. La durée du trajet entre Washington et New-York a pu être ainsi diminuée de 16 minutes. En outre, on évite les retards qui proviennent, en hiver, du flottage des glaces sur la rivière.

Mais en raison de la pente du tunnel et de sa longueur, on ne pouvait employer la traction par locomotives à vapeur ; la quantité considérable de fumée et de gaz délétères déversés par les locomotives accomplissant un travail considérable était telle que lors des essais qui furent faits, plusieurs personnes furent asphyxiées.

On adopta donc la traction électrique.

Les locomotives électriques ont donné pleine satisfaction.

La vitesse garantie était de 48 km à l'heure ; on a pu obtenir des vitesses de 55 et même 65 km à l'heure, sur la rampe de 8 pour 1 000, lorsque la locomotive remorquait un

(1) *Street Railway Journal*, mars 1895, p. 161.

(1) *L'Éclairage Électrique*, 17 août 1895, p. 299.

train de 500 tonnes. Seule, la locomotive électrique put atteindre la vitesse de 98 km pendant peu de temps, sans qu'aucun accident en résultât pour les moteurs ou pour le trôlet.

La locomotive électrique a pu remorquer un train de marchandises composé de 44 wagons chargés de bois de construction et de charbon, et de trois locomotives à vapeur, pesant en tout 1 900 tonnes. Le démarrage en rampe se fit sans difficulté, les trois locomotives à vapeur étant inactives. Le courant enregistré fut de 2 200 ampères pendant la période de mise en marche et de 1 800 ampères à vitesse constante, le voltage étant de 625. Les quatre moteurs étaient en série et donnaient par conséquent le couple maximum pour ce courant.

L'effort de traction développé dans ces conditions est estimé à 29 000 kg. Il était tel qu'une des barres d'attelage entre deux wagons se rompit.

L'effort de traction est calculé d'après l'intensité du courant mesuré sur la locomotive, l'effort correspondant à l'intensité d'un ampère ayant été préalablement déterminé expérimentalement de la façon suivante :

On intercalait entre la locomotive et le train, dont chaque wagon avait été préalablement pesé, un wagon dynamométrique. L'effort de traction était enregistré sur une bande de papier se déroulant avec une vitesse proportionnelle à celle du train lui-même. Une ligne tracée par un planimètre permettait de déterminer à tout moment l'effort de traction moyen. Un chronographe marquait sur ce papier un signe toutes les deux secondes. En outre, l'emplacement du train était déter-

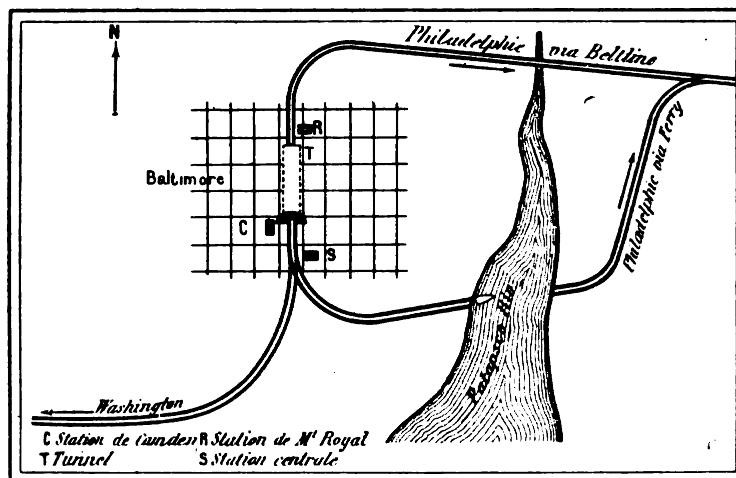


Fig. 1. — Courbe du rendement commercial d'une génératrice de 1 500 kw.

miné toutes les deux secondes, en jetant sur le sol une boule de farine gâchée dans l'eau. Les indications du voltmètre et de l'ampèremètre étaient enregistrées simultanément.

On avait ainsi toutes les indications nécessaires pour effectuer les calculs.

On observa ainsi notamment :

1° Comment le démarrage s'effectuait sur la pente conduisant au tunnel ;

2° Comment l'effort de traction diminuait lorsque le train s'accélerait ;

3° Comment l'effort de traction augmentait lorsque le train s'engageait sur la rampe de 0,8 pour 100 dans le tunnel ;

4° Lorsque le train était complètement en rampe, l'effort de traction était à peu près constant, jusqu'à ce qu'on atteignit la rampe terminale de 1,2 pour 100.

Les courbes du dynamomètre sont beaucoup plus régulières que lorsque la traction est opérée par des locomotives à vapeur. Cela tient évidemment à ce qu'avec ces der-

nières le couple moteur varie avec l'angle de la manivelle, tandis qu'avec la locomotive électrique, le couple moteur reste constant pendant toute la rotation.

On fit un premier essai avec un certain nombre de wagons attelés ; on détermina d'après les courbes la valeur totale de l'effort de traction lorsque celui-ci avait atteint sa valeur constante ; en divisant par le poids total, on obtint la valeur du l'effort de traction qui était de 11 kg par 1000 kg. En retranchant la valeur de l'effort correspondant à la montée du train (8 kg par 1 000), on obtint le coefficient de résistance au roulement en palier, égal à 3 kg par tonne. Ces chiffres pris pendant les chaleurs du mois de septembre, ne sont plus applicables pendant les mois d'hiver où l'effort de traction est augmenté de 20 à 30 pour 100.

On répéta la même expérience dans des conditions aussi identiques que possible, mais après avoir supprimé 6 wagons d'un poids connu. La différence entre les lectures dans les deux essais donnait ainsi la valeur de l'effort de traction et du courant consommé pour le remorquage de ces 6 wagons. La différence des efforts de traction divisée par la différence des intensités indiqua qu'à une intensité de 1 ampère correspondait un effort de traction de 13 kg.

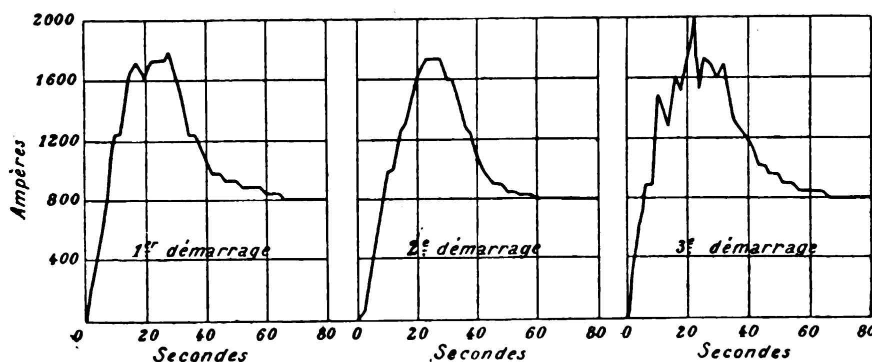


Fig. 2. — Variations du courant au moment du démarrage, dans trois expériences différentes.

Cette méthode élimine la dépense de la locomotive elle-même. On peut calculer celle-ci aisément : il suffit de multiplier le poids des wagons par 3 pour avoir l'effort correspondant à la traction des wagons, dans un cas déterminé, et de diviser par 13 pour avoir l'intensité correspondante. En soustrayant celle-ci de l'intensité totale enregistrée, on a l'intensité du courant dépensé par la locomotive ; on a trouvé ainsi qu'elle est de 144 ampères.

Les expériences précédentes ont été faites sur des trains à marchandises les 4 moteurs étant en série ; les chiffres ci-dessus ne s'appliquent qu'à ce cas particulier.

On voit maintenant comment on peut calculer le poids remorqué en partant du nombre d'ampères enregistré en marche normale, à vitesse constante. On déduit de l'intensité totale, l'intensité absorbée par la locomotive, soit 144 ampères, ce qui donne, en multipliant par 13 l'effort développé pour la traction des wagons. En divisant par 3 on a le poids du train en tonnes.

Les courbes de la figure 2 représentent les variations du courant au moment du démarrage, dans trois expériences différentes ; les lectures de l'ampèremètre étaient faites à 2 secondes d'intervalle ; le train, composé de wagons à marchandises, pesait environ 800 tonnes métriques, et remontait la rampe de 0,8 pour 100.

Les courbes de la figure 3 donnent la valeur

dû courant au moment de la mise en marche d'un train composé de 28 wagons à marchandises chargés et de 2 locomotives à vapeur inactives; son poids était de 825 tonnes métriques ; le démarrage avait lieu sur la rampe de 0,8 pour 100. La courbe A donne les intensités en ampères et les efforts de traction correspondants. Ceux-ci sont relatifs au remorquage du train, indépendamment de la locomotive. La courbe B donne la valeur de l'accélération à tout moment ; elle est tracée

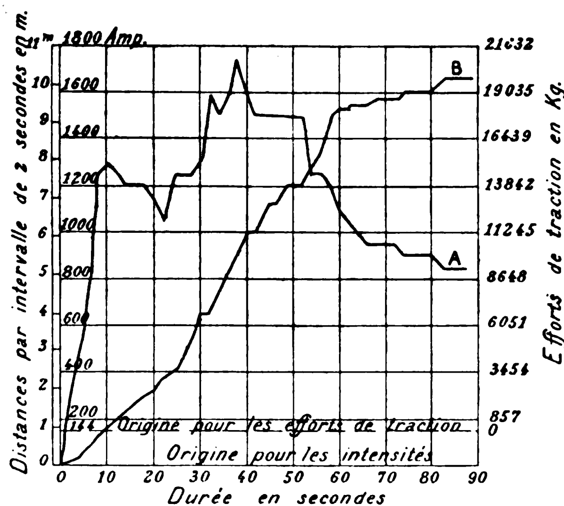


Fig. 3. — Courbes représentatives de l'intensité du courant, de l'effort de traction et de l'accélération, au moment de la mise en marche d'un train de 825 tonnes :

A — intensités en ampères et efforts de traction correspondants.

B — courbe des accélérations.

d'après le relevé des positions du train de 2 en 2 secondes,

Il est difficile de se rendre compte exactement de ce que sera le prix de revient de la traction électrique lorsque le service sera complètement développé. Actuellement, une seule locomotive est employée et elle n'accomplit que le tiers environ du service qu'elle doit faire lorsque le service des trains à voyageurs sera organisé et que la traction électrique sera faite sur toute la longueur de la ligne. Les salaires à la station centrale seraient les mêmes si trois locomotives étaient en service. En tenant compte de ces conditions, on peut cependant établir une première comparaison intéressante entre les prix de revient de la traction électrique et de la traction à vapeur.

Pendant le mois d'octobre 1895, les dépenses, à Baltimore, furent les suivantes :

STATION CENTRALE

Salaires	6 728,50	
Charbon (7,45 fr les 1000 kg)	2 004,80	
Huile et chiffons	756,30	
Eau	253,30	
Entretien	127,10	
Total	9 870 »	9 870 »

LOCOMOTIVE

Mécaniciens	1 000 »	
Huile et chiffons	60,80	
Total	1 060,80	1 060,80
Total général		10 930,80

Le service suivant fut effectué :

Nombre de trains remorqués	353
Poids moyen de chaque train	995 tonnes
Durée moyenne de chaque voyage	20 min.
Intensité moyenne du courant	986 amp.
Longueur de chaque trajet	6,4 km
Longueur totale du trajet effectué	2 272 km
» » » (calculée d'après les temps de repos)	6 043 km
Temps réellement dépensé pour le service ci-dessus	118 heures
Temps écoulé pendant les repos	626 »

Dans l'industrie des chemins de fer à vapeur, pour calculer les prix de revient par kilomètre, on considère que toute locomotive sous pression dépense autant, par heure que si elle faisait un trajet de 9654 m pendant le même temps c'est d'après cette base qu'on a calculé le chiffre de 6 043 km donné dans le tableau ci-dessus.

En se basant sur ces données, et en comptant que les dépenses en salaires à la station centrale restent fixes, tandis que toutes les autres dépenses sont proportionnelles, on peut établir les prix ci-dessous :

	Dépenses totales	Km parcourus	Prix de revient par km
Pour 1 locomotive en service	10 930,80	8 315	1,315 fr
» 2 » »	14 376,80	16 630	0,863 »
» 3 » »	17 822,80	24 946	0,714 »

Prix de revient moyen par km, en fr.

Locomotives à voyageurs	0,599	0,518	0,507	0,483	0,549
» marchandises	0,769	0,826	1,066	0,716	0,813
» aiguillages..	0,479	0,516	0,569	0,443	0,490
» travaux.....	0,744	0,702	0,814	0,675	0,732
Total..................	0,648	0,682	0,660	0,559	0,652

Pendant le même mois, sur une des grandes lignes de chemins de fer à vapeur américaines, les relevés du service et des dépenses furent les suivants :

	Section Est	Section Ouest	Section centrale	Section N et W	Ligne entière
Locomotives en service......	74	57	33	28	192
Trajet parcouru en service...	4560	4772	3689	3709	4349

Si les parcours prévus sont effectués ; les prix de revient avec 3 locomotives électriques en service seraient donc à peu près les mêmes que ceux des locomotives à vapeur pour trains à marchandises.

On se propose d'ailleurs d'utiliser les installations électriques de l'usine pour une industrie connexe, pendant les heures de repos des locomotives. Le prix de revient de la traction électrique deviendrait ainsi inférieur à celui de la traction à vapeur.

Nous aurons à revenir sur ce sujet ainsi que sur l'entretien des conducteurs de contact dans le tunnel, qui demande des soins particuliers en raison de l'humidité qui règne dans ce lieu et de l'action corrosive des vapeurs et fumées dégagées par les locomotives à vapeur qu'on y remorque ; l'installation ne date pas, à notre avis, depuis assez longtemps pour qu'on puisse se faire une opinion exacte sur ce point.

G. P.

Un nouveau frein électrique, par Frank M. Ashley (¹).

Depuis l'application de l'électricité à la traction de nombreux freins électriques ont été imaginés. Celui de M. Ashley est représenté en coupe longitudinale et transversale par les figures 1 et 2. Sur l'essieu est calé un manchon à gorge plus ou moins profonde au fond de laquelle se trouve un enroulement

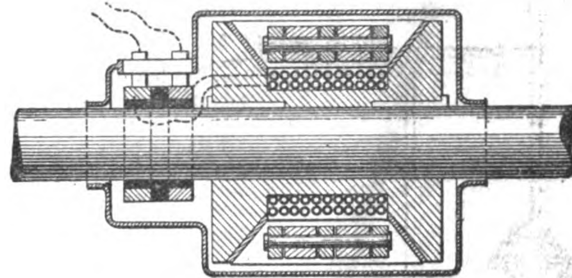


Fig. 1. — Coupe longitudinale du frein électrique Ashley.

relié à deux bagues isolées ; autour du manchon sont disposés une série de segments de fer reliés entre eux et au châssis de la voiture par des boulons. Quand on lance un courant dans l'enroulement, le manchon s'aimante et les segments s'appliquent fortement sur lui.

Généralement dans les freins électriques

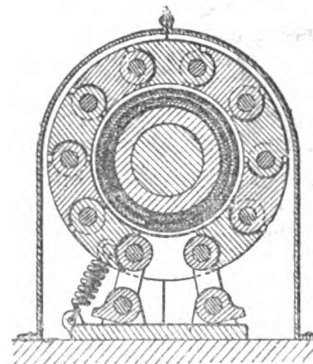


Fig. 2. — Coupe transversale du frein électrique Ashley.

des tramways mus par l'électricité le courant est emprunté directement à la ligne. Ce procédé a le grave inconvénient de rendre le frein inactif quand, pour une raison quelconque, par exemple, abandon du câble conducteur par la roulette du trôlet, le circuit se trouve rompu. Aussi l'auteur préfère-t-il avoir recours pour le fonctionnement du frein à une batterie d'accumulateurs placée en dérivation

(¹) *Electric Power*, t. IX, p. 19.

avec le moteur de la voiture et qui se charge pendant la marche de la voiture. Pour arrêter celle-ci, il suffit de tourner la manette du contrôleur dans un sens convenable, mouvement qui a pour effet de couper le circuit de la ligne et de fermer le circuit des accumulateurs

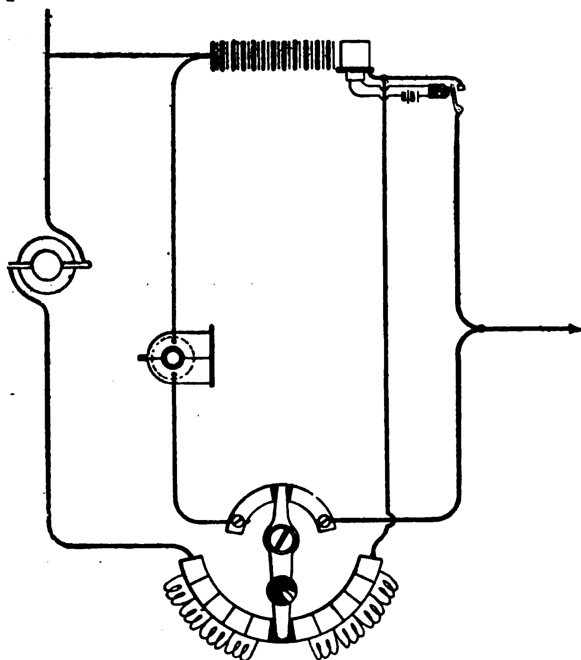


Fig. 3. — Schéma des connexions du frein électrique Ashley.

sur le frein. La figure 3 donne le détail des connexions. Ajoutons que quand les accumulateurs sont suffisamment chargés, un interrupteur automatique les met hors circuit ; la pièce principale de cet interrupteur est un flotteur plongé dans l'eau acidulée des accumulateurs et qui émerge plus ou moins suivant la densité de ce liquide et, par suite, suivant le degré de charge. J. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Société de Physique de Londres

Séance du 8 mai

MM. *Frith* et *Rogers* font une communication sur « la résistance de l'arc électrique ».

Ils rappellent qu'au meeting d'Ipswich de l'Association Britannique le professeur Ayrton annonçait que la résistance *vraie* d'un arc, définie comme étant le rapport d'un accroissement très petit de la différence de potentiel entre les charbons à la variation correspondante du courant, est une quantité négative.

Dans le but de mesurer cette résistance vraie sans altérer la forme des charbons, leur position, etc, les auteurs superposent un faible courant alternatif au courant principal continu qui alimente l'arc. La lampe à arc employée était réglée à la main et la longueur de l'arc était évalué en mesurant celle de son image à travers une lentille. L'intensité du courant principal et la différence de potentiel étaient mesurées par un ampèremètre et un voltmètre Weston, tandis que le courant alternatif auxiliaire était mesuré à l'aide d'un transformateur à air et d'un voltmètre électrostatique.

Les auteurs ont trouvé qu'entre les limites employées l'intensité du courant alternatif n'a aucune influence sur la résistance de l'air. La fréquence, tant qu'elle reste comprise entre 250 et 7 alternations complètes par seconde, ainsi que la forme de l'onde n'ont également aucune influence, car on obtient les mêmes résultats avec un alternateur Pyke et Harris, un alternateur Ferranti, un alternateur Gramme et un transformateur Mordey.

Pour chaque espèce de charbons examinés, on opérait avec les quatre combinaisons suivantes : charbon positif et négatif à âme ; charbon positif à âme et charbon négatif plein ; charbon positif plein et négatif à âme ; tous deux pleins. Les courbes obtenues montrent qu'avec deux charbons pleins la résistance vraie est toujours négative tandis qu'avec deux charbons à âme elle est toujours positive et qu'avec les deux autres combinaisons elle est tantôt positive, tantôt négative, les courbes se rapportant aux cas où le charbon positif est plein étant toujours plus négatives que celles qui se rapportent aux cas où ce charbon positif est à âme.

Les courbes représentant la variation de la résistance de l'arc en fonction de la différence de potentiel entre les charbons, l'intensité du courant étant maintenue constante (10 ampères), indiquent, dans le cas de deux charbons pleins, un minimum de la résistance (maximum négatif) pour une différence de potentiel de 55 volts environ. Ce minimum est plus fortement accusé et se produit pour une valeur plus faible de la différence de potentiel lorsqu'on emploie un charbon positif à âme. La position de ce minimum, dans le cas de charbon à âme, est en relation étroite avec la présence ou l'absence de l'espace sombre dans l'arc ; pour les points de la courbe situés à droite du minimum il n'y a pas d'espace sombre, tandis que pour ceux qui sont à gauche, on observe toujours un espace sombre.

Les auteurs ont constaté qu'en prenant comme charbon positif un charbon carré dont la partie centrale a été enlevée on obtient une courbe tout a fait semblable à celle que l'on a avec deux charbons pleins ; si on remplace la partie évidée de ce charbon avec un mélange de plâtre et de kaolin, la résistance devient négative.

Les précédentes expériences se rapportent au cas où le charbon positif est le charbon supérieur. D'autres expériences faites en inversant le sens du courant ont montré qu'avec des charbons pleins la résistance de l'arc n'est pas altérée d'une façon appréciable par cette inversion. Au contraire avec des charbons à âme la résistance de l'arc est modifiée en même temps que ses caractères physiques : l'espace sombre disparaît et la résistance de l'arc diminue notablement. Toutefois si les conditions sont telles qu'avant l'inversion il n'y avait pas d'espace sombre, l'inversion ne modifie pas la résistance.

Quelques essais ont été faits pour mesurer la résistance vraie d'un arc sifflant ; ils ont montré que, lors même que l'alternateur est en repos, l'électromètre accuse de grandes déviations et que, par suite, le courant qui traverse un arc sifflant est oscillatoire.

Pour se rendre compte de la raison de la divergence des résultats de leurs expériences sur les charbons à âme avec ceux que l'on déduit des courbes de M. Ayrton, les auteurs ont fait une série de mesures avec de basses fréquences. Ils ont trouvé une fréquence critique au dessous de laquelle la résistance a une valeur positive indépendante de la fréquence et au dessous de laquelle la résistance est négative ; cette valeur critique est comprise entre 75 et 0. La recherche du signe de la résistance s'effectuait en observant simultanément les oscillations des aiguilles de l'ampèremètre et du voltmètre ; si les aiguilles oscillent dans le même sens à chaque instant c'est qu'un accroissement de la différence de potentiel est accompagné d'un accroissement de l'intensité du courant, et par suite, la résistance de l'arc est positive ; si au contraire les oscillations sont à chaque instant de sens inverses c'est qu'un accroissement de la différence de potentiel est accompagné d'une diminution de l'intensité du courant et la résistance est alors négative.

Les auteurs essayèrent aussi de faire des mesures sur un arc alimenté directement par une dynamo à courant continu. Ces essais ne réussirent pas car, même lorsque l'alternateur était en repos, l'électromètre oscillait ; les auteurs attribuent ces oscillations aux oscillations du courant résultant du passage des balais d'un segment à l'autre du commutateur de la dynamo.

A la suite de cette communication plusieurs membres de la Société prennent la parole :

Le professeur Gray doute qu'il soit rigoureux de donner le nom de « résistance vraie » au coefficient angulaire de la tangente à la courbe reliant la différence de potentiel V et l'intensité I du courant et estime que la méthode des auteurs pour déterminer $\frac{dV}{dI}$ n'est exacte que si la courbe se réduit à une droite.

M. Ayrton dit que relativement à la question de l'existence d'une force contre-électromotrice dans l'arc, il semble que cette force

contre-électromotrice n'existe pas, car en explorant l'arc avec une électrode parasite de carbone on n'a pu trouver de force contre-électromotrice constante. Il ajoute que si l'on considère l'arc comme une résistance siège d'une force contre-électromotrice, il était nécessaire dans les expériences de séparer ces deux quantités. Or pour résoudre cette question il ne suffisait pas de prendre une seule valeur de la différence de potentiel et de l'intensité ; il fallait en prendre une série. Il estime qu'en donnant à la différence de potentiel et à l'intensité du courant des variations suffisamment petites on peut pratiquement regarder la courbe reliant ces quantités comme rectiligne entre les limites des mesures. Il fait observer que tant que l'on obtient des valeurs positives pour la résistance de l'arc la méthode de MM. Frith et Rogers est correcte, mais que son exactitude devient douteuse quand les valeurs trouvées sont négatives.

M. Campbell rappelle qu'il a antérieurement appliqué la méthode suivie par les auteurs pour l'étude des courants « pulsants » ; en faisant passer dans un couple thermo électrique des courants « pulsants », comme ceux que l'on obtient par l'ouverture et la fermeture d'un interrupteur, il a constaté l'existence d'une force contre-électromotrice ; avec des courants alternatifs cette force contre-électromotrice ne se produisait pas.

Une discussion plus complète est renvoyée à la prochaine réunion. J. B.

Photographie par les ondes électriques, par J. Robin et A. Perret.

Dans un des derniers numéros de la *Nature* (9 mai 1896), les auteurs décrivent quelques expériences montrant que les ondes électriques produites entre les armatures d'un condensateur chargé par une bobine de Ruhmkorff impressionnent une plaque photographique.

Un cliché et une plaque sensible sont placés gélatine contre gélatine et déposés au fond d'une boîte de carton que l'on dispose, après l'avoir fermée hermétiquement, entre deux lames métalliques respectivement reliées aux bornes d'une bobine d'induction de 7 à 10 cm de longueur d'étincelles. Après un temps de pose qui ne dépasse pas 13 minutes, la plaque est développée. L'image obtenue est très riche et les détails viennent avec une rare valeur ; les ombres n'ont pas cette opacité que l'on trouve trop souvent dans les positifs ordinaires ; enfin le tout possède une douceur et un modelé surprenants.

Le nombre des interruptions du courant primaire de la bobine joue un rôle prépondérant sur le temps de sensibilisation de la plaque ; celle-ci est d'autant plus rapidement impressionnée que le nombre de fréquences est plus grand.

Le temps de pose ne semble pas avoir une grande influence sur la netteté de l'image ; ce temps de pose, qui était de 45 minutes dans les premières expériences, a pu être abaissé à 15 minutes sans faire varier les résultats d'une façon sensible.

Au contraire, la nature des lames métalliques constituant les armatures a une grande importance. Les premières expériences, faites avec une lame de cuivre et une lame de plomb, donnèrent un bon résultat ; en remplaçant ces lames par deux lames de fer, puis par deux lames de nickel, la photographie ne vint pas.

Les résultats obtenus ne paraissent pas devoir être attribués à un effet de phosphorescence de la gélatine du cliché, car, dans ce cas, le temps de pose doit être de plusieurs heures et l'image ne vient que grâce à des révélateurs très énergiques. D'ailleurs les auteurs se sont assurés qu'en laissant une plaque et un cliché en contact, sans faire intervenir l'influence des ondes électriques, on n'obtenait aucune image.

Réduction du temps de pose dans les radiographies par l'emploi de champs magnétiques non uniformes, par G. Meslin (1).

L'emploi d'un champ magnétique déviant

(1) *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, t. VII, p. 407 ; 30 avril 1895.

les rayons émanant de la cathode d'un tube de Crookes et donnant naissance aux rayons Roentgen présente, dans la technique de la photographie par ces rayons, un double avantage. En premier lieu, on peut ainsi déplacer la tache fluorescente d'où émanent les rayons X, ce qui permet, dans les différentes expériences, d'utiliser successivement les diverses régions du tube sur lesquelles on produit la tache active, résultat qui a déjà une certaine importance, car, lorsqu'on emploie toujours la même région, cette tache, d'abord verte,

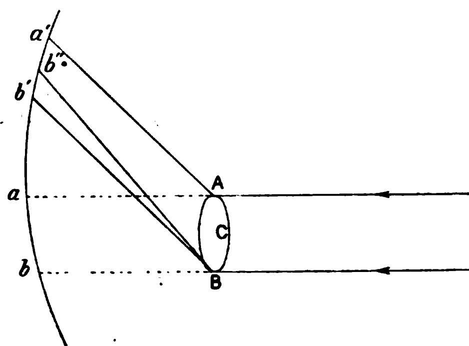


Fig. 1. — Figure schématique montrant la condensation des rayons cathodiques.

devient peu à peu jaunâtre au fur et à mesure qu'il se forme un léger dépôt brun qui finit par rendre cette région inactive. Le second avantage, plus considérable et mis en évidence par l'auteur, est qu'on peut, en ne prenant pas un champ magnétique uniforme et en se servant d'une partie convenable de ce champ, condenser la tache fluorescente en augmentant alors son éclat.

Cela tient à ce que, en général, les rayons cathodiques rencontrant un champ non uniforme, ne seront pas tous déviés du même angle : ils seront donc *dispersés* les uns par rapport aux autres et on peut mettre à profit cette dispersion, pour obtenir, par un emploi judicieux du champ, une condensation plus favorable.

Pour faire comprendre la possibilité d'obtenir un pareil résultat, l'auteur envisage d'abord le cas où l'action magnétique s'exerçant loin de la cathode, c'est à dire près de la calotte qui lui est opposée, la tache est déplacée d'une petite quantité et renvoyée sur le haut ou sur le bas de cette calotte.

« Figurons le cylindre de rayons cathodiques AB*ab* qui viennent former en *ab* (fig. 1) la tache fluorescente sensiblement homogène; ce cylindre pénètre, en AB, dans un champ magnétique créé par deux pôles placés l'un en avant, l'autre en arrière du plan de la figure, à la hauteur de AB. Ce champ est supposé perpendiculaire au plan du tableau ; il produit

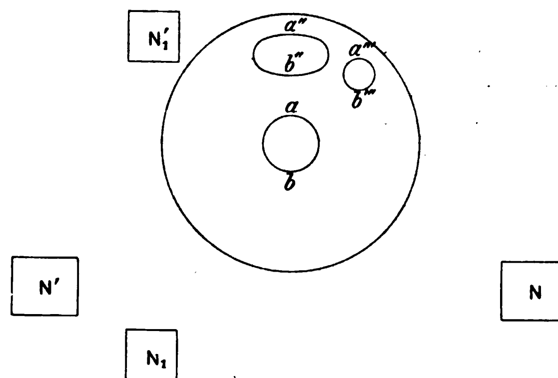


Fig. 2. — Disposition schématique des pôles magnétiques pour la condensation des rayons Roentgen.

une déviation que nous localiserons, pour simplifier, dans la branche AB, et qui rejette, par exemple, le faisceau vers le haut.

» Si le champ est uniforme, les rayons tournent du même angle et la tache *a' b'* aura les mêmes dimensions que AB ou *ab* (en négligeant les variations d'obliquité de la paroi). Mais supposons, au contraire, que le champ ne soit pas uniforme et qu'il aille en croissant de A vers B; le rayon qui passe par B sera plus énergiquement dévié, c'est à dire plus rejeté vers le haut, et la tache *a' b'* sera plus condensée ; si le champ allait en décroissant de A vers B, la déviation du rayon B*b* serait moindre et la tache serait dilatée.

» Si l'on renvoyait les rayons vers le bas, on arriverait dans chacune des hypothèses précédentes à la conclusion inverse. On voit donc que, si l'on rejette les rayons vers le haut, il faut, pour avoir une condensation, employer un champ décroissant vers le haut ; si on les rejette vers le bas, il faut un champ

diminuant de haut en bas. En résumé, il faut un champ décroissant du côté où l'on renvoie les rayons ; dans le cas contraire, on aurait une dilatation.

» L'expérience vérifie complètement ces prévisions, il suffit, pour le constater, de disposer deux pôles en N et N' au-dessous de l'axe du tube, comme il est indiqué dans la figure 2, où le tube est supposé vu de face, et de mesurer le diamètre de la tâche dans le plan médian dans lequel se fait le déplacement ; le diamètre vertical *a b* présente une contraction qui peut être accompagnée d'une dilatation transversale (à cause d'effets analogues à ceux étudiés dans le deuxième cas),

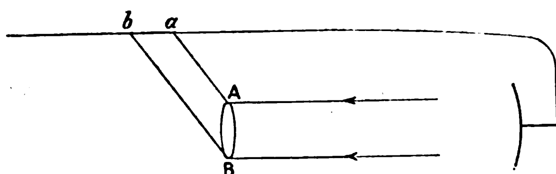


Fig. 3. — Déviation des rayons cathodiques A B sur la paroi latérale d'un tube au moyen de deux pôles placés près de la cathode.

et qu'on peut d'ailleurs réduire en mettant deux autres pôles sur le côté gauche, en N' N'₁, de façon à rejeter la tache en $a''' b'''$. On réalise les différentes circonstances précédemment indiquées en déplaçant le tube de haut en bas, dans le champ, de façon à avoir ensuite un champ constant, puis un champ croissant vers le haut. »

En second lieu, l'auteur considère le cas où les rayons cathodiques, subissant l'action du champ au voisinage de leur origine, sont rejetés sur la paroi latérale du tube.

» Supposons que le champ magnétique agisse à une petite distance de la cathode, de manière que la tache soit rejetée sur la paroi latérale. Elle sera plus ou moins étalée suivant que la déviation sera plus ou moins grande et, en outre, suivant la variation du champ étudié dans le cas précédent ; mais ce résultat n'a trait qu'à ce qui se passe dans le plan médian. Dans le plan perpendiculaire, l'étalement serait le même si le champ était toujours perpendiculaire au plan médian, car les rayons cathodiques situés sur une même horizontale pivoteraient de la même quantité et garderaient entre eux un écartement constant. Mais il est facile de voir qu'on peut utiliser la variation de direction du champ pour produire une condensation dans le sens transversal.

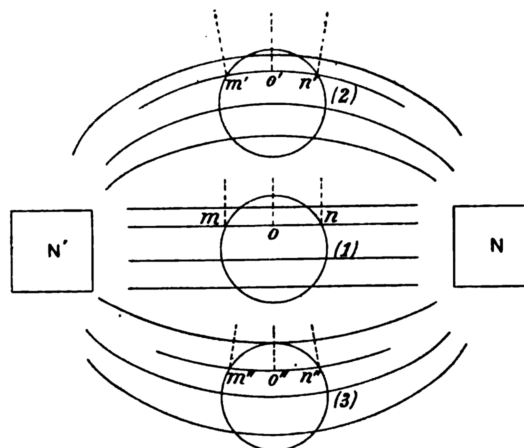


Fig. 4. — Schéma montrant comment on peut utiliser un champ magnétique pour obtenir une condensation des rayons cathodiques dans le sens transversal.

» Pour cela, considérons ce qui se passe dans le plan perpendiculaire où nous localiserons la déviation ; figurons le champ (fig. 4) produit par les pôles N et N', et envisageons successivement ce qui se produit quand le cylindre de rayons cathodiques est dans les trois positions (1), (2) et (3).

» Dans la position (1), les rayons qui arrivent en *m n o*, tournent de la même façon, comme il a été dit, et suivent des directions qui se projettent suivant les lignes en pointillé, qui partent de *m n o* ; ces lignes sont parallèles et la largeur transversale n'est pas modifiée.

» Dans la position (2), le champ n'a pas la même direction en *m'* en *n'* et en *o'* ; la déviation ne se produira pas dans la même direction en ces trois points, elle aura lieu suivant des droites qui se projetteront comme il est dessiné en pointillé ; ces lignes vont en divergeant, et la tache aura une dilatation transversale.

» Dans la position (3), au contraire, les rayons sont envoyés dans des plans qui sont obliques les uns par rapport aux autres, et qui vont en se rapprochant ; il y aura donc une condensation transversale et production d'une ligne lumineuse parallèle à l'axe comme on le constate aisément : le champ magnétique joue alors le rôle d'une lentille cylindrique pour les rayons cathodiques et par conséquent pour les rayons X, auxquels ils donnent naissance et sur lesquels on ne pouvait guère agir directement.

» Si l'on renversait le champ pour renvoyer les rayons vers le bas, les conclusions seraient exactement inverses.

» On se trouve donc amené, pour avoir une contraction transversale, à mettre le tube dans la position (3), c'est à dire dans un champ décroissant vers le bas, ce qui produit une dilatation longitudinale ; cela n'a pas d'inconvénient si l'on veut avoir une ligne lumineuse. Mais si l'on veut produire une condensation dans tous les sens, on y parviendra en augmentant la valeur moyenne du champ, ce qui accroîtra la déviation et fournira pour la dimension *ab* de la tache dans le plan médian une valeur de plus en plus petite.

» En déplaçant le tube dans le champ et en faisant varier l'excitation de l'électroaimant, on arrive rapidement à trouver les meilleures conditions. On peut même faire des mesures en se servant d'un photomètre à rayon X, que j'ai construit pour l'exploration du champ [1] et dont la description a paru récemment dans le *Journal de physique*.

» En employant un de ces dispositifs, on peut faire des photographies avec des poses très courtes. En me plaçant dans le premier cas (20 mars), j'ai obtenu en 25 secondes la silhoutte des os d'une main d'adulte, assez nettement pour qu'on puisse y voir très bien la trace d'une fracture à la dernière phalange de l'index, fracture dont nous n'avions pas connaissance et que nous ne cherchions pas.

» Depuis, j'ai refait cette photographie en utilisant mieux la variation du champ et en envoyant la tache sur une partie où la coudure du tube favorisait la condensation et j'ai obtenu le même résultat en cinq secondes (23 mars), ce qui fournit une démonstration de la possibilité de réduire d'une façon considérable la pose à l'aide de champs magnétiques convenables ».

(1) Voir l'*Éclairage Électrique*, t. VII, p. 116.

Méthode électrométrique pour la détermination des constantes diélectriques, modification par J. F. Smale [1].

La méthode de M. Smale est en principe celle de M. Bjerknes.

Une aiguille isolée oscille librement entre deux électrodes, par rapport auxquelles sa position est dissymétriques : lorsque les électrodes sont chargées, l'aiguille s'électrise par influence et est attirée. Pour une même différence de potentiel entre les électrodes, les déviations sont proportionnelles à la constante diélectrique du milieu.

Les électrodes faites de minces feuilles de platine (3 cm de long sur 4 cm de large) sont suspendues au couvercle en ébonite de la cage par des fils de platine qui servent à leur amener le courant : elles forment une sorte d'ellipse (3 cm × 2 cm) et sont séparées par un intervalle de 1/2 cm.

L'aiguille est aussi formée par une feuille de platine très mince, longue de 1 cm, large de 3 mm ; elle est soudée à un petit fil de platine qui supporte un miroir ; le tout est suspendu à une vis par un fil de platine ou mieux de quartz.

La différence de potentiel maintenue entre les électrodes doit être constante : comme il est impossible d'employer un courant continu, à cause des phénomènes de polarisation, on relie les électrodes aux pôles d'un petit alternateur. Cet alternateur, à aimant permanent est mû par un petit moteur à air chaud, muni d'un régulateur à gaz ; les variations du potentiel ainsi obtenu n'atteignent pas 1/4 pour 100.

(1) *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 215.

La sensibilité de l'instrument est maxima quand l'aiguille fait avec la droite qui joint les deux intervalles des électrodes un angle de 45°.

Au lieu de faire l'expérience avec un seul électromètre, il est plus commode et plus exact de disposer un second électromètre en dérivation sur le premier dans le circuit de l'alternateur. Soient θ, θ' les déviations qu'on observe sur les deux électromètres quand ils sont remplis d'un liquide D, θ'', θ''' ces déviations quand le liquide est D_1, le rapport des constantes diélectriques sera :

$$\frac{D}{D_1} = \frac{\theta}{\theta'} \frac{\theta'''}{\theta''}$$

Pour deux liquides déterminés, le rapport entre les déviations des deux électromètres est d'ailleurs indépendant de la valeur absolue de la différence de potentiel établie entre les électrodes.

Ainsi modifiée, la méthode électrométrique donne des nombres qui concordent avec ceux que fournit la méthode de M. Nernst [1].

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Les tramways au point de vue financier, en Amérique (Street Railway Investments, a Study in Valnes), par EDWARD E. HIGGINS. Un vol. in-8° de VI 102 pages, New-York, 1895. *Street Railway Publishing Company*, Editeur.

Le développement rapide de la traction mécanique et de la traction électrique en particulier, dans les différents pays d'Europe, donne à cet ouvrage un grand intérêt. L'auteur, en effet, s'est proposé de résoudre ce difficile problème : jusqu'à quel point le développement considérale des tramways est-il profitable et la substitution de la traction électrique à la traction animale a-t-elle été avantageuse ?

Les capitaux engagés dans les affaires de traction se chiffrent par milliards de francs, et quelques affaires malheureuses ont fait hésiter les financiers ; une étude de ce genre s'imposait donc.

[1] Voir *l'Éclairage Electrique*, t. VII, p. 372.

Pour résoudre la question l'auteur a compulsé et analysé plusieurs centaines de rapports, étudié sur place les conditions d'exploitation et les besoins de la population. Son procédé de classement, tout arbitraire qu'il soit, lui a permis d'arriver à des conclusions très intéressantes. Voici en quoi il consiste :

Il a groupé les lignes en sept classes différentes :

Classe I.— Tramways sur routes dans des villes de moins de 15 000 habitants.

Classe II.— Tramways sur routes dans des villes de 15 000 à 25 000 habitants.

Classe III.— Tramways sur routes dans des villes de 25 000 à 50 000 habitants.

Classe IV.— Tramways sur routes dans des villes de 50 000 à 100 000 habitants.

Classe V.— Tramways sur routes dans des villes de 100 000 à 500 000 habitants.

Classe VI.— Tramways sur routes et chemins de fer élevés dans des villes de plus de 500 000 habitants.

Classe VII.— Tramways interurbains.

Suivant l'importance de la population et les besoins de celle-ci, le nombre de voyages que chaque habitant effectue par an varie dans de grandes proportions ainsi :

Dans les villes de la première classe les recettes annuelles par tête varient entre 1,25 fr et 10 fr, mais dépassent rarement 5 fr. Dans les villes de 15 000 à 25 000 habitants, elles tombent rarement au dessous de 2,50 fr et dépassent souvent 15 fr. Dans les villes de la classe III, (de 25 000 à 35 000 habitants), les recettes brutes annuelles par tête sont rarement inférieures à 5 fr et dépassent souvent 25 fr ; dans les villes de la même classe (de 35 000 à 50 000) elles ont un minimum un peu plus élevé de 7,50 fr et un maximum sensiblement égal. Il en est de même à peu de chose près dans les villes de 50 000 à 100 000 habitants. Dans les les villes de la cinquième classe (de 100 000 à 500 000 habitants), l'augmentation de trafic est considérable ; les

recettes brutes annuelles varient de 20 fr à 50 fr et plus par tête. Enfin, dans des villes comme New-York, elles sont de près de 75 fr par tête d'habitant.

Connaissant ces chiffres et le coefficient d'exploitation, c'est à dire le rapport des dépenses aux recettes, on peut évaluer les bénéfices probables et partant l'importance maxima du capital à engager.

L'auteur arrive ainsi à cette conclusion.

« En général, les capitalistes doivent refuser de considérer toute affaire de tramways qui ne se présente pas dans les conditions suivantes :

» *a*. — Le service d'une population actuelle d'au moins 25 000 habitants;

» *b*. — Un trafic nécessitant au moins 8 km de voies et 5 voitures;

» *c*. — Le service direct d'une population minima de 3 000 habitants par mille de voie (2 000 habitants par km);

» *d*. — La concession gratuite, sans charges écrasantes, pour 30 ans ou plus;

» *e*. — Le privilège d'employer une voie coûtant, prête pour le service, au plus 37 500 fr par mille (23 000 fr par km). »

Ces conclusions ne sont évidemment pas absolues et ne s'appliquent qu'aux lignes financées par des banquiers. Il y a quantité de lignes ne répondant pas à ces conditions qui peuvent être excellentes; mais alors il est, en général, nécessaire qu'elles soient financées par des gens du pays même qui peuvent consacrer leur temps à la direction industrielle de l'affaire. En outre, nombre de lignes peuvent être construites dans le but de donner de l'activité à une contrée et d'augmenter ainsi la valeur des terrains; on pourrait citer un grand nombre de lignes qui ont été ainsi le principal facteur de l'extension des villes et qui, tout en contribuant à accroître la valeur des terrains, ont fini par devenir d'une exploitation profitable.

Il faut bien considérer aussi que ces chiffres s'appliquent à des villes américaines où l'on voyage beaucoup plus qu'en Europe. Le *Street Railway Journal* publiait dernièrement la statistique suivante qui montre toute l'importance de cette différence des habitudes des populations américaines et européennes :

Noms des villes	Population	Kilomètres de voies	Voyageurs transportés par an
Brooklyn	839 000	650	190 000 000
Birmingham et environs	686 000	131	36 000 000
Boston et environs	620 000	682	160 000 000
Liverpool	518 000	195	36 000 000
Saint Louis	452 000	466	96 000 000
Dublin	362 000	106	10 000 000
Sheffield	324 000	29	6 200 000
Saint Paul-Minnéapolis	298 000	357	40 100 000
Belfast	256 000	64	19 700 000
Buffalo	256 000	229	30 700 000
Pittsburgh	239 000	387	25 700 000
Bristol	222 000	45	13 700 000
Rochester	134 000	123	15 600 000
Aberdeen	122 000	34	4 300 000
Denver	107 000	159	15 100 000
Indianapolis	105 000	160	17 100 000
Derby	94 000	16	2 700 000
Oxford	46 000	13	2 700 000
Springfield (Mass)	44 000	56	7 500 000

Ces résultats tiennent à deux causes principales.

D'abord au caractère américain : sa passion pour les transports rapides et son mépris des petites économies; un américain n'a pas le temps de « couper un nickel en quatre »; il n'hésite pas à payer 5 sous (un nickel) pour gagner 3 minutes sur un parcours d'un kilomère; en outre, les villes américaines sont beaucoup plus étendues que les villes européennes.

Ensuite, les facilités qu'offrent les compagnies américaines aux voyageurs sont incomparablement plus grandes que celles offertes aux voyageurs européens. Dans le tableau ci-dessus, pour des villes de même population, le nombre de voyageurs est à peu près proportionnel au développement des voies. Les tramways américains vont beaucoup plus vite que les tramways européens; leurs départs sont beaucoup plus fréquents. C'est une des causes les plus importantes d'un trafic intense. On a établi que le nombre des voyages croît à peu près comme le carré de la vitesse. En Amérique, la substitution de la traction électrique à la traction mécanique a toujours amené une augmentation de trafic qui a été souvent de 100, 200 et même 300 pour 100 du

trafic antérieur. En outre, l'Américain est toujours sûr d'avoir de la place dans les voitures, car les compagnies admettent des surcharges quelconques. Et nous savons tous par notre expérience personnelle ce que perdent les compagnies par suite des attentes énervantes devant des voitures « complètes »; combien de voyageurs perdent patience et s'en vont à pied! et combien d'autres, certains du sort qui les attend, ne cherchent même pas à prendre la voiture!

Toutes ces causes réunies expliquent la différence qui existent entre les résultats donnés par des lignes établies dans des villes de même importance. Elles montrent aussi tout l'avantage que les compagnies peuvent retirer, de ce côté de l'Atlantique, en adoptant les méthodes américaines. L'exemple des villes françaises, comme le Havre, qui ont adopté la traction électrique, prouve que ces conclusions sont vérifiées dans la pratique.

Nous ne pouvons, dans une simple revue bibliographique, nous étendre davantage sur les réflexions que l'étude de l'ouvrage de M. Higgins suggère. Nous nous bornerons à citer ses conclusions : « En termes généraux, on peut dire que la substitution de la traction électrique ou funiculaire à la traction animale a donné une importance plus grande à l'industrie des tramways et l'a immensément élevée dans l'esprit des financiers et capitalistes. Son avenir est brillant et, en dépit de nombreux exemples où les espoirs ont été ou seront déçus, les bénéfices qu'elle assure comparent très favorablement avec ceux des autres entreprises industrielles. »

En terminant, ajoutons une légère critique. Pour effectuer ce travail, M. Higgins a dû consulter un grand nombre de rapports. Ne pourrait-il pas, dans une édition ultérieure publier les résultats de ses recherches quant aux frais d'exploitation détaillés ? Cette publication en complétant son travail permettrait aux ingénieurs de faire d'utiles comparaisons et de tirer des conclusions intéressantes pour l'étude des lignes en projet.

G. Pellissier.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Caussade (Tarn-et-Garonne). — *Éclairage.* — La petite ville de Caussade, vient d'inaugurer l'éclairage électrique dont nous avions annoncé l'installation (*Écl. Élect.*, t. I, p. 526, 16 mars 1895).

Le matériel a été fourni par la Société alsacienne de constructions mécaniques qui a déjà établi de nombreuses installations dans cette région de la France.

L'éclairage, d'une fixité parfaite, est vivement apprécié de toute la population.

Cherbourg. — *Éclairage.* — Nous apprenons que le projet d'éclairage dont nous avons publié les détails dans notre numéro du 18 avril 1896 (t. VII, p. 140) vient d'être accepté à la majorité des voies dans une récente séance du Conseil municipal.

Par 15 voix contre 9 la municipalité a adopté les propositions de la Compagnie du gaz, tendant à substituer l'éclairage électrique à l'éclairage au gaz dans les principaux quartiers de la ville.

Les neuf conseillers qui ont voté contre le projet étaient bien partisans de l'électricité, mais ne voulaient pas que la ville prolongeât de vingt ans, c'est à dire jusqu'en 1960, la durée du monopole accordé à la Compagnie du Gaz et Eaux.

Laignes (Côte-d'Or). — *Éclairage.* — La petite ville de Laignes inaugurait dernièrement la double installation des bornes fontaines et de l'éclairage électrique que la captation d'une source abondante, au centre même de la ville, a permis d'établir à des conditions exceptionnellement favorables.

Le service de l'éclairage électrique est fait au moyen de deux dynamos, dont une sert de réserve, actionnées par la roue hydraulique.

La force motrice en basses eaux permettra d'alimenter 50 lampes de 16 bougies, dont 40 pour l'éclairage des rues et 10 pour l'éclairage de l'Hôtel-de-Ville, des écoles et de l'hospice.

L'installation a été faite par la Société électro-mécanique de Paris sous la direction de M. Sirodot, auteur du projet.

Limoges. — *Traction.* — Sur la demande du maire de Limoges, le Conseil vient de donner un avis favorable à l'établissement de plusieurs lignes de tramways électriques et d'accorder la conces-

sion de ces nouvelles lignes à MM. Grammont et Faye.

Les travaux de l'usine à établir sur les bords de la Vienne sont déjà commencés.

Prochainement aura lieu l'adjudication des travaux de la voie et des bâtiments d'exploitation, tout laisse donc à penser qu'au 1er septembre prochain une ou deux de ces lignes seront terminées.

Le Conseil a adopté certaines modifications au cahier des charges demandées par le ministre des travaux publics

MM. Grammont et Faye seront autorisés à employer l'intérieur et l'extérieur de leurs voitures et de leurs bureaux pour la publicité qu'ils jugeront à propos de faire. Ils sont autorisés également à constituer une Société anonyme pour l'exploitation de cette publicité.

CHAMBRE SYNDICALE DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES

Séance du 5 mai 1896.

La séance est ouverte à 5 heures 20, sous la présidence de M. Meyer.

Membres présents : MM. Bancelin, Berne, Bénard, Bernheim, Geoffroy, Harlé, Meyer, Mildé, Sartiaux, Triquet.

Excusés : MM. Cance, Hillairet.

Sont admis à faire partie du Syndicat comme Membres adhérents :

M. Mornat, Constructeur-Électricien, 56, boulevard Voltaire, présenté par MM. Meyer et Sartiaux ;

M. Guichard, Ingénieur de la Compagnie Édison 72, rue Rochechouart, présenté par MM. Meyer et Bernheim ;

M. Le Bourg, Ingénieur de la Compagnie Édison 9, avenue Trudaine, présenté par MM. Meyer et Bernheim ;

M. Picard (Ludovic), Constructeur-Électricien, rue Charlot, 62, présenté par MM. Meyer et Berne ;

M. de la Ville le Roulx (Pierre), Directeur de la Société pour le travail électrique des métaux, 13, rue Lafayette, présenté par MM. Meyer et Sartiaux ;

M. Korda (Désiré), Ingénieur, Chef du Service électrique à la Compagnie de Fives-Lille, 64, rue Caumartin, présenté par MM. Meyer et Bour ;

M. Schwarberg, Directeur de la Compagnie Électro-Mécanique, 11, avenue Trudaine, présenté par MM Meyer et Chaussenot ;

M. Cadiot, Constructeur-Électricien, 12, rue Saint-Georges, présenté par MM. Meyer et Sartiaux ;

M. de Coincy, Président de la Société des Globes diffuseurs, 55, rue Taitbout, présenté par MM. Meyer et Triquet ;

M. Rouget (Paul), Administrateur-Délégué de la Compagnie Continentale des Compteurs, 9, rue Pétrelle, présenté par MM. Meyer et Bancelin ;

M. Castoul (Édouard), Constructeur d'Appareillage, 6, rue Martel, présenté par MM. Meyer et Mildé.

Le Président rend compte du succès obtenu par l'Exposition d'éclairage domestique, qui a été organisée du 2 au 5 mai par la Société Internationale des Electriciens, et à laquelle le Syndicat des Industries électriques a apporté un concours empressé. L'affluence des visiteurs a été considérable et cette entreprise n'a pu qu'être fort utile à notre industrie. Il est juste de rappeler la part importante que notre collègue, M. Clémançon, a prise à l'organisation matérielle de cette exposition, et de lui adresser nos remerciements.

MM. Hazarabedian frères, de Düsseldorf, sollicitent l'appui du Syndicat des Industries électriques de France en faveur d'un jeune électricien arménien, que les récents évènements ont obligé à quitter son pays pour se rendre en Amérique. M. Mildé veut bien offrir de le recommander à ses correspondants.

A la suite de l'Assemblée générale du 17 mars dernier, l'un de nos adhérents, M. Ducommun, Directeur de la Société Régionale d'Électricité, à Avignon, nous a adressé le compte rendu pour l'exercice 1895 de cette entreprise d'éclairage électrique. Etablie avec un capital de 200,000 francs actions et de 200,000 francs obligations, elle dessert plus de 2000 lampes, et le résultat de l'exploitation, après avoir assuré un large amortissement, a permis de distribuer 7 % de dividende M. Ducommun explique, dans la lettre qu'il a adressée à la Chambre syndicale, par quels procédés de rigoureuse économie et par quel système d'exploitation il a obtenu ce résultat, et il se met volontiers au service de ceux de nos collègues qui désireraient quelques renseignements.

L'exemple de la Société d'Avignon montre que les entreprises d'éclairage électrique sont susceptibles de donner d'excellents rendements ; il con-

vient de féliciter M. Ducommun de sa réussite, et de porter son intéressante communication à la connaissance de nos adhérents.

Le Président informe la Chambre que le Conseil d'État, auquel les Chambres adhérentes au Comité central avaient adressé une réclamation au sujet des nouveaux droits d'octroi votés en 1894 par le Conseil municipal de Paris, sur les fers et aciers, a émis un avis défavorable à l'application de ces droits, et que M. le Ministre des Finances a renvoyé le dossier à la Préfecture de la Seine pour nouvel examen.

M. Harlé rend compte des travaux de la Commission chargée d'établir une instruction pour prévenir les accidents dans les usines employant l'électricité. Cette Commission propose le projet suivant, destiné à être porté à la connaissance des ouvriers par l'affichage dans les usines intéressées et qui, d'ailleurs, ne serait pas à appliquer dans les stations centrales et les usines de construction électrique, où le personnel a une compétence professionnelle spéciale :

Projet d'instruction concernant les appareils électriques. — Éviter sur les machines électriques en marche, sur les appareils ou conducteurs mis en communication avec la source d'électricité, tout travail autre que les manœuvres normales, même le nettoyage.

Éviter d'approcher des machines électriques des objets de fer qui peuvent se trouver attirés dans les organes en mouvement.

Veiller à la bonne isolation de toutes les parties de l'installation en écartant des machines, des conducteurs et des appareils, les poussières de toute nature, la graisse ainsi que l'humidité.

Il est interdit de jeter de l'eau ou des linges mouillés sur les appareils ou conducteurs parcourus par le courant, même en cas de feu. Dans ce cas, on doit d'abord interrompre le courant.

Lorsqu'un travail de modification ou de réparation est nécessaire, on doit séparer du réseau, de manière que le courant cesse d'y circuler, les conducteurs et appareils sur lesquels on travaille. Le contremaître devra s'assurer, avant le commencement du travail, que la source n'est plus en communication par aucun de ses pôles.

S'il était indispensable d'opérer sur des conducteurs ou appareils parcourus par le courant, le travail ne serait fait que par l'ouvrier spécialement chargé de l'installation électrique, sous la surveillance du contremaître.

On ne doit s'approcher des machines ou appareils parcourus par des courants à haute tension, qu'en prenant des précautions spéciales pour l'isolation. Les ouvriers qui s'approchent de ces machines et appareils doivent porter des chaussures isolantes ; ils doivent se tenir sur les planchers isolés ou tapis spéciaux isolants, disposés pour l'accès à ces machines et appareils.

On ne doit pas toucher les conducteurs, même garnis d'isolants, parcourus par des courants de haute tension.

Il est particulièrement dangereux de toucher simultanément deux conducteurs ou deux organes de polarité différente. Pour éviter tout accident dans les manœuvres à effectuer sur les appareils, on doit faire attention de ne toucher que les poignées isolantes, et autant que possible se servir d'une seule main, l'autre restant éloignée des appareils.

Un ouvrier ne doit jamais entrer, sans autorisation spéciale, dans le local ou se trouvent les transformateurs.

Il est de même interdit de pénétrer, avec une lumière à feu nu, dans un local renfermant des accumulateurs.

DIVERS

Les exécutions par l'électricité à Ohio. — Malgré le peu de succès qu'eût ce genre d'exécution à New-York (on se souvient encore du bruit qu'à causé l'exécution de Kemler) les justiciers de l'Etat d'Ohio se proposent de tenter l'expérience à leur tour.

Nous lisons dans l' « Electrical World » du 25 avril 1896 que la Cour de Justice d'Ohio vient de prendre une mesure relative à l'établissement d'une loi par laquelle les criminels seraient exécutés au moyen de l'électricité ; cette loi paraît-il est déjà votée et sera mise en vigueur au 1er juillet prochain.

L'électricité dans les mines en Amérique. — L'emploi de l'électricité dans les centres miniers d'Amérique prend de jour en jour des proportions plus considérables et aura bientôt remplacé celui de la vapeur dans cette industrie souterraine. En effet, il se passe rarement une semaine sans que l'on apprenne que dans telle ou telle mine le ma-

tériel d'exploitation a été transformé pour fonctionner au moyen de l'énergie électrique. Les dernières mines qui viennent de recevoir une application de ce genre sont Mt Pleasant Colliery, près Seranton et une des nombreuses mines d'anthracite de la région de Clearfield.

La première installation comprend une dynamo génératrice à 4 pôles de 100 kilowatts avec une tension de 250 volts à la vitesse angulaire de 550 tours par minute. L'énergie produite alimente non seulement les treuils des monte-charbon et les machines-outils en usage dans les galeries mais aussi les pompes d'épuisement qui peuvent être, par suite de la facilité avec laquelle on déplace les circuits d'alimentation, transportées là où le besoin s'en fait sentir. Outre l'éclairage électrique la dynamo fournit aussi de l'énergie à une locomotive électrique servant à la traction des wagons sur la ligne principale.

Le puits du district minier de Clearfied possède une dynamo génératrice de 150 kilowatts à 550 volts qui fournit l'énergie à une pompe de 100 chevaux servant à l'épuisement et à une autre pompe à double effet destinée à seconder la première en cas d'insuffisance de celle-ci. Les treuils servant à monter le charbon sont aussi actionnés par des moteurs électriques.

Les conducteurs allant aux différents puits sont des câbles armés qui, en certains cas, traversent des épaisseurs de 150 m de terrain afin d'éviter de trop longs détours pour se rendre à une galerie plus proche de la station génératrice que le puits de descente.

Les voitures automobiles électriques du concours de Chicago.— Nous avons déjà signalé dans une précédente chronique (18 janvier 1896, t. VI, p. 144) la présence de deux automobiles électriques au concours qui a eu lieu en novembre dernier, à Chicago. Un rapport publié dans le *Times Herald* de cette ville, à la suite d'essais faits au laboratoire par une commission composée de MM. Barrett, Lundie et Summers sur les automobiles ayant pris part au concours, contient quelques considérations intéressantes; nous résumons dans le tableau suivant les renseignements que nous y trouvons relativement aux deux voitures électriques construites par la Woods Company.

Les deux voitures avaient le même type de moteur (Lundell); mais celle de Morris et Salam avait un seul moteur de 3 chevaux attaquant les roues directement tandis que celle de Sturger avait deux moteurs de 1/2 cheval actionnant les roues par engrenage. Le rendement s'est montré à peu près le même, mais l'emploi de deux moteurs, d'un réglage un peu plus facile, évite la nécessité de trains d'engrenages différentiels afin de donner aux roues de l'essieu moteur l'indépendance indispensable pour le passage en courbe.

	Morris et Salam Vitesse en m par seconde		Sturger Vitesse en m par seconde	
	5,10	10	1,75	4,50
Effort de traction en kg	12	13	18,6	19
Puissance en chevaux : à la jante	0,78	1,78	0,41	1,14
absorbée par le mécanisme	0,34	0,68	0,21	0,39
totale du ou des moteurs (*a*)	1,12	2,46	0,62	1,53
Rendement organique	0,70	0,72	0,66	0,74
Puissance électrique fournie aux moteurs (*b*)	1,36	2,90	0,99	1,94
volts	97	96	35	69
ampères	10,5	22,5	21	21
Rendement $\frac{a}{b}$	0,57	0,61	0,41	0,59
Kilow-heures fournis aux accumulateurs par cheval-heures aux jantes	1,74	1,63	2,42	4,70
kgm aux jantes par kw-h	342 000	363 000	246 000	340 000
Prix par cheval-heure à la jante	0,85	1,20	0,41	0,85

Électro-chimie appliquée. — Dans une Note récemment présentée et lue devant la Society of Arts par M. Swinburne, l'auteur, en comparant les méthodes anglaises et américaines pour l'obtention du cuivre pur par l'électrolyse dit qu'en Angleterre on emploie généralement des éléments de 1/2 volt ayant un certain nombre d'anodes et de cathodes disposées en parallèle. Ce système exige de nombreuses connexions qui rendent la manipulation des appareils assez difficile et compliquée. Tandis qu'en Amérique on emploie des cuves de 100 volts, dans lesquelles des plaques de cuivre brut sont placées entre chacune des anodes et cathodes composant l'élément; l'un des côtés des plaques soumises à l'action électrolytique agissant comme ca-

thode se dissout et l'autre agissant comme anode reçoit le cuivre pur. Afin d'empêcher l'opération d'aller trop loin, c'est à dire que le cuivre transformé en cuivre pur soit redissous à nouveau, on a trouvé un système ingénieux qui a été essayé et ensuite appliqué dans les usines d'affinage d'Anaconda (États-Unis). Ce système consiste à appliquer sur le côté cathode d'une plaque, des feuilles de papier assez résistant maintenues par des rivets en cuivre; ces rivets offrent une conductibilité suffisance pour permettre à l'action de commencer ; le cuivre dont ils sont formés est bientôt répandu à la surface de la feuille de papier sur laquelle vient se déposer également tout le cuivre du côté anode de la plaque jusqu'à ce que la feuille de papier soit à nu; comme après la transformation cette dernière recouvrira le côté anode de la nouvelle plaque l'action électrolytique ne pourra se poursuivre grâce à l'intervention du papier.

Une nouvelle application du phonographe. — S'il faut en croire ce que nous annonce un de nos confrères d'Amérique le merveilleux appareil d'Édison vient de recevoir un genre d'application qui n'est pas sans avoir quelque intérêt.

Le directeur d'une importante station hydraulique située aux bords de l'Elk River en Californie a eu l'idée d'employer un phonographe pour rechercher le défaut de fonctionnement d'une des pompes et pouvoir la réparer sans faire venir de New-York un ingénieur expert.

Tout d'abord en parlant dans l'appareil le directeur donna les détails caractéristiques du fonctionnement et du défaut présumé de la pompe en question, puis il fit enregistrer par le même appareil le bruit provoqué par la pompe défectueuse en mouvement. Le petit cylindre de cire fut ensuite envoyé à un expert de New-York qui, après récupération des paroles et mouvements enregistrés, a pu sans difficulté établir les causes de mauvais fonctionnement et l'on a pu faire les réparations nécessaires sans les frais d'un voyage onéreux.

La plus grande courroie du monde. — Nous lisons dans l'*Electrical Review* que la Chicago Belting Company fabrique une courroie de dimensions peu ordinaires ; sa longueur est de 45 m, sa largeur, 2,10 m, son épaisseur de 9 mm et son poids de 1 495 kg. Ce gigantesque ruban de cuir est composé 450 pièces dont la préparation a exigé environ 5 000 peaux. Cette courroie est construite pour le compte de la Louisiana Electric Light Company qui la destine à un volant de 7,40 de diamètre d'une grande machine Allis-Corlin.

Tramways électriques à grande distance. — La compagnie des tramways électriques de Washington, Alexandria et Mount-Vernon, vient d'adopter un nouveau modèle de voitures destinés à effectuer un service accéléré sur ses lignes. Cette voiture a 12,15 m de longueur totale et peut recevoir 42 voyageurs assis. A une de ses extrémités est un cabinet de toilette et un réservoir d'eau glacée à l'usage des voyageurs altérés, tout comme sur les trains de grande ligne. La voiture est équipée avec deux moteurs G. E. 2000, un sur chaque truck, calculés pour donner une vitesse de 72 à 80 km à l'heure en remorquant deux voitures attelées. On a dû adopter des contrôleurs spéciaux par ce que la ligne est alimentée, dans Washington par un conducteur souterrain à 220 volts et, en dehors, par un conducteur aérien à 600 volts. C'est, on voit, une installation comparable à celle d'un véritable chemin de fer électrique.

Le chemin de fer élevé de Liverpool. — Le chemin de fer électrique de Liverpool vient d'être prolongé à partir de son terminus nord sur un parcours d'environ 1 kilomètre ; 230 m des nouvelles lignes, qui sont à double voie, sont en viaduc, et 731 m sont en tunnel. Les trains seront composés de 3 wagons tandis que sur les lignes existantes, il ne sont composés que de 2 wagons. La station centrale a reçu de nouveaux groupes générateurs, en sorte que la puissance totale disponible sera de 2 400 chevaux.

La locomotive Heillmann en Amérique. — S'il faut en croire l'information que *Electric Railway Gazette* reproduit d'après le *Philadelphia Item*, les ingénieurs américains seraient sur le point d'essayer une locomotive électrique genre Heillmann dans l'Etat d'Indiana. Elle serait construite en vue d'une grande vitesse et serait munie de différents perfectionnements ; on espère ainsi obtenir des vitesses de 100 km à l'heure avec des trains lourds, tout en réduisant la consommation de combustible de 18,16 kg par kilomètre-train à 5,7 kg au moins.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. MAUCHAUSSAT, 32 Boulevard de Vaugirard

Tome VII | Samedi 6 Juin 1896 | 3e Année. — N° 23

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

Directeur Scientifique : J. BLONDIN

Secrétaire de la rédaction : G. PELLISSIER

LE TRAMWAY ÉLECTRIQUE
DE LA PLACE
DE LA RÉPUBLIQUE A ROMAINVILLE

Dans un précédent article nous avons fait la description succincte du tramway électrique de Romainville ([1]). Nous allons donner à présent des détails plus complets sur cette importante installation, qui a été inaugurée officiellement lundi dernier 1er Juin.

Commençons d'abord par expliquer le fonctionnenent, — un tant soit peu compliqué, il faut le reconnaître, — des appareils de distribution du courant.

Les pavés métalliques, espacés de 2,50 m et mesurant 0,10 m de longueur, qui forment le conducteur isolé du tramway, étant réunis deux par deux par un câble permanent, la voie électrique se comporte exactement comme une série de tronçons de rails ou patins de 2,60 m de longueur, espacés entre eux de 2,40 m et sur lesquels appuient des frotteurs de 3,30 m de long.

Les distributeurs D D' (fig. 1), placés sur la voie tous les 95 m., se composent de 3 manettes ABC pouvant tourner solidairement en s'appuyant sur une couronne portant 20 touches circulaires 1, 2, 18, 19, *a*. A l'intérieur de cette couronne se trouvent 3 contacts 0, *b*, 20, marqués à l'extérieur sur la figure pour la clarté du dessin, et sur lesquelles peut frotter une petite manette H montée sur le même axe E que les 3 grandes manettes A,B,C. La manette H a une largeur plus grande que l'intervalle entre les contacts 0, *b*, 20 ; la manette du milieu A a également une largeur supérieure à l'intervalle de deux touches de la couronne ; les manettes extrêmes B,C, sont au contraire moins larges que l'intervalle de deux touches consécutives.

Le pôle négatif du moteur V, de la voiture est réuni d'une façon permanente au pôle négatif de la dynamo G par l'intermédiaire du chassis et de la voie de roulement R. Le pôle positif du moteur se trouve relié au câble isolé K, c'est à dire au pôle positif de la dynamo G, par l'intermédiaire du frotteur F, et du distributeur D. L'axe E du distributeur est réuni constamment par un balai au câble isolé K. Les 21 patins 0,1,..., 18, 19, 20 dépendant d'un même distributeur sont reliés au contact 0, aux touches de la couronne 1, 2,..., 18, 19, et au contact 20 ; d'autre part la touche *a* est reliée au contact *b*. De plus les deux derniers patins 19 et 20 de la section d'un distributeur D sont communs à la section du distributeur suivant D', où ils forment le patin 0' relié au contact 0' et le patin 1' relié a la touche 1'. Ces doubles liaisons servent au passage d'un distributeur à l'autre. En outre un contact Z fixé sur le distributeur est relié d'une façon permanente à la voie de roulement négative R.

Le déplacement des manettes du distributeur s'effectue par rotations successives de 1/20 de tour dans un sens ou dans l'autre

([1]) Voir *L'Éclairage Électrique* du 2 mai 1896, p. 222.

suivant l'orientation des véhicules en marche. Ces rotations se produisent par l'action de 2 électro-aimants recevant un courant qui passe des manettes B ou C au contact fixe Z au moyen d'un dispositif qui sera indiqué plus loin.

Le frotteur F de la voiture ayant une longueur plus grande que l'intervalle compris entre 2 patins 16, 17 par exemple, pénètre sur le patin 17 avant d'avoir quitté le patin 16. Quand le frotteur est dans la position F_1 appuyé sur le patin 16, les manettes du distributeur D sont dans la position indiquée sur la fig. 1. Le courant passe du câble positif K au moteur V_1 par l'axe E, la manette centrale A, la touche 16, et le patin 16. Le distributeur reste au repos jusqu'au moment où le frotteur atteint le patin suivant 17 tout en restant encore au contact du patin 16. Dans cette position indiquée en F_2 le courant principal suit le même chemin que précédemment jusqu'à la voiture, c'est à dire la touche 16 et le patin 16 ; mais les 2 patins 16 et 17 se trouvant réunis par le frotteur F_2 le courant se divise en 2 parties : la plus grande partie se rend au pôle positif du moteur V_1 ; le reste se rend à l'électro-aimant de manœuvre en passant par le patin 17, la touche 17, la manette C et de là au contact négatif Z. Le petit courant qui traverse l'électro fait alors tourner l'axe E de 1/20 de tour au moyen d'un mécanisme que nous verrons plus loin, et les 3 manettes avancent simultanément d'une touche ; à partir de ce moment le courant peut se rendre de l'axe E au moteur de la voiture V_2 par la manette centrale A, la touche 17 et le patin 17 ; le frotteur F_2 peut donc quitter le patin 16 sans que le courant soit interrompu dans le moteur. Les dimensions des pièces sont établies de façon que la rotation du distributeur soit terminée avant que le frotteur F_2 ait quitté le patin 16 ; il y a donc un court instant pendant lequel le courant arrivant au moteur passe à la fois par les touche et patin 16 et les touche et patin 17.

Les bras du distributeur continuent de la même manière à tourner de 1/20 de tour, c'est à dire à avancer d'une touche, chaque fois que la voiture passe sur un patin nouveau, jusqu'au moment où le frotteur F_1 se trouve sur le patin 19. La manette centrale A du distributeur D repose alors sur la touche 19, la manette C sur la touche *a* et la courte manette H à la fois sur les contacts 20 et *b*.

La touche *a* étant réunie au contact 20 par la liaison *ab* le contact *b* et la courte manette, se trouve donc dans les mêmes conditions que si elle était reliée directement au patin 20 et par conséquent les choses se passeront comme précédemment : lorsque le frotteur F_1 pénétrera sur le patin 20, avant d'avoir quitté le patin 19, la dérivation du courant passant du patin 20 à la manette C fera avancer de 1/20 de tour le distributeur D. Mais, ainsi qu'on le voit sur la figure 1, le dernier patin 20 de la section du distributeur D forme le second patin 1′ de la section du distributeur D′ et est relié à la touche 1′ de ce dernier. Ces liaisons restent ouvertes tant que le frotteur F_1 n'a pas atteint le patin 20-1′. Au moment où il pénètre sur ce patin, une seconde partie du courant principal est dérivée du patin 20, passe par la touche 1′, la manette C′ et se rend par le contact Z′ à l'électro-aimant de manœuvre qui fait tourner le distributeur D′ de 1/20 de tour dans le sens des aiguilles d'une montre. Pendant la période où le frotteur F_1 appuie à la fois sur le patin 20-1′ et sur le patin 19, les deux distributeurs fonctionnent donc simultanément : le distributeur D arrive dans sa position de repos où la manette A est isolée sur la touche *a* et où les autres manettes sont également isolées; le distributeur D′ avance d'une touche, c'est à dire que la manette centrale A′ vient appuyer sur la touche 1′. Le courant se rend alors à la voiture par la liaison KE′, la manette A′, la touche 1′ et le patin 20-1′. Il y a, comme toujours, au commencement de la rotation du distributeur, un moment où le courant arrive à la voiture par deux patins à la fois. Mais en outre, la liaison du patin 19-0′ au contact 0′, établie pour la marche en sens inverse, forme en même temps liaison de sûreté entre

les deux distributeurs, de sorte que pendant un court espace de temps le courant principal arrive à la voiture par 2 patins, 2 distributeurs et 3 circuits différents; le premier circuit est formé par le fil KE du distributeur D, la manette A, la touche 19 et le patin 19-o'; le second par le fil KE' du distributeur D', la manette A', la touche *a'* le contact *b'*, la courte manette H', le contact o' et le patin 19-o'; le troisième par le fil KE' du distributeur D', la manette A', la touche 1' et le patin 20-1'.

Lorsque la voiture marche dans la direction opposée, les distributeurs fonctionnent exactement de la même manière, mais le courant qui actionne l'électro aimant de ma-

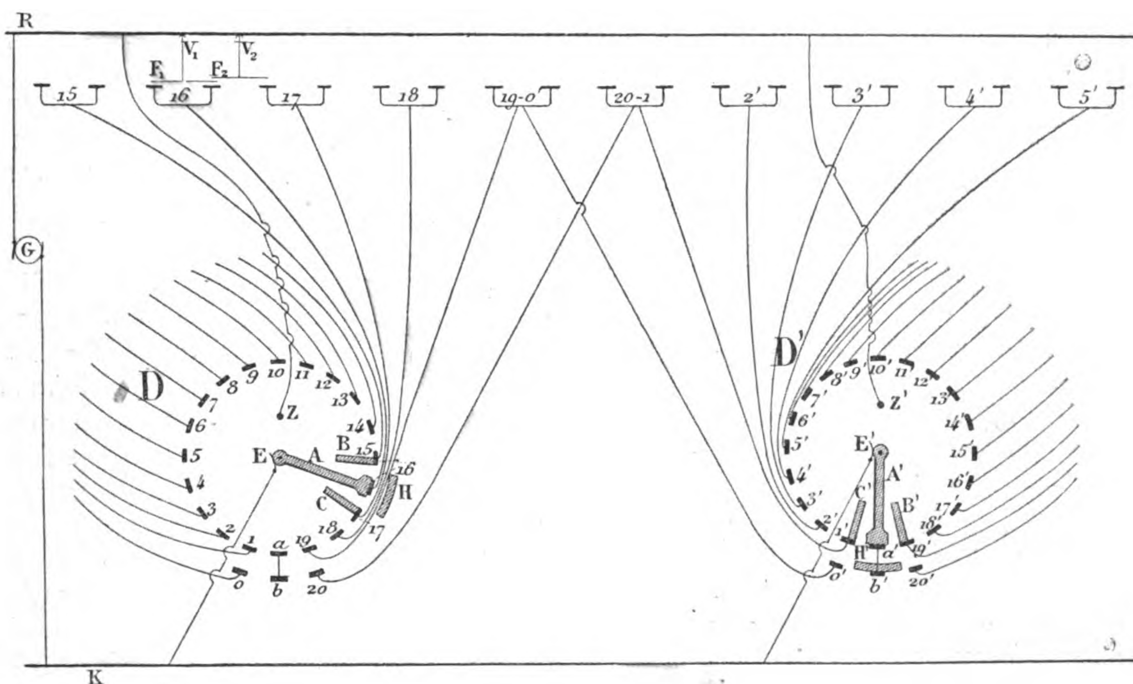


Fig. 1. — Schéma des organes de distribution.

nœuvre passe alors par l'autre manette extrême B ou B', et la rotation a lieu en sens inverse des aiguilles d'une montre.

En se reportant à la description que nous avons faite du tramway de Lyon [1], on pourra constater que le fonctionnement des distributeurs, en tant qu'organes de distribution, n'a été nullement changée dans le tramway de Romainville. Mais où les appareils ont été modifiés, c'est dans la manière de produire le mouvement mécanique des distributeurs. A Lyon, les distributeurs étaient sollicités à tourner soit dans un sens, soit dans l'autre, par un poids formant couple *permanent*, mais ce couple ne pouvait s'exercer que par intermittence lorsque le cliquet d'une roue à rochets se trouvait dégagé au moyen du courant envoyé par le distributeur dans un électro aimant de manœuvre. A Romainville, au contraire, il n'existe pas de couple permanent; le mouvement de rotation *lui-même* est créé, à chaque avancée de 1/20 de tour, par un électro-aimant de manœuvre, actionné comme précédemment par le distributeur.

Nous allons voir quel est ce système de manœuvre et comment il fonctionne. Sur l'axe supportant les 4 manettes A, B, C et H du distributeur (fig. 2) est calée une roue à rochets munie de 20 dents. Sur ce même axe est montée folle une tige $X_1 X_1$ portant deux cliquets $r_1 r_2$ maintenus au repos en dehors de

[1] Voy. *L'Éclairage Électrique*, 4 mai 1895, p. 214.

la roue dentée par deux ressorts de rappel. La tige X_1X_1 peut s'écarter de sa position normale dans un sens ou dans l'autre suivant que l'une ou l'autre des palettes en fer doux α_1 ou α_2 est attirée par l'électro aimant fixe correspondant L_1 ou L_2. Enfin la tige mobile est terminée d'un côté par un frotteur X_1 appuyant sur les contacts m_1 n_1 et

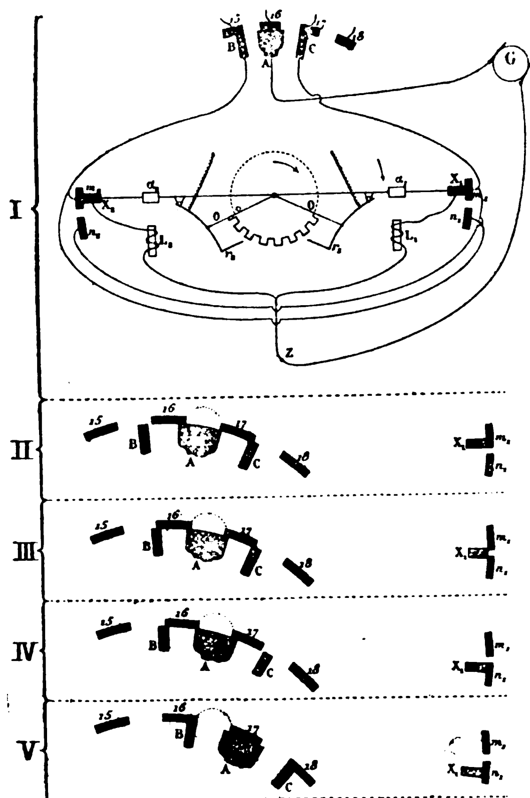


Fig. 2. — Schéma des appareils de manœuvre du distributeur.

réuni par une liaison mobile à l'électro aimant L_1, et de l'autre côté par un frotteur X_2 appuyant sur les contacts m_2 n_2 et réuni par une liaison mobile à l'électro aimant L_2. Les deux électro aimants sont réunis en parallèle, par leur autre extrémité, sur un contact Z en communication permanente avec le pôle négatif de la canalisation ou dynamo G. D'autre part, la manette C est reliée d'une façon permanente à la fois au contact m_1 et au contact n_2 et la manette B est réunie aux deux autres contacts m_2 et n_1,

Supposons la manette intermédiaire sur la touche 16, c'est à dire à la position (I) de la figure 2. Nous avons vu précédemment qu'au moment où la voiture arrive sur le patin 17 les touches 16 et 17 du distributeur se trouvent reliées ensemble. Un courant traverse alors l'électro aimant L_1 jusqu'au moment où les manettes ont avancé d'une touche complète, et produit par conséquent une attraction continue de la palette α_1 dans le sens de la flèche. Mais pendant cette période de manœuvre du distributeur, le courant de manœuvre prend 3 circuits différents suivant les 3 positions intermédiaires II, III, IV du distributeur, c'est à dire de la roue dentée O. Mais avant même que la roue dentée O se mette en mouvement, le système passe par une position préliminaire I *bis*, non indiquée sur la figure 2. Dans cette période de début, les manettes restent fixes comme en position I; le courant de manœuvre arrive du pôle positif de la dynamo G à la manette centrale A et à la touche 16, passe par le frotteur de la voiture à la touche 17, et se rend à l'électro L_1 en traversant le contact m_1 et le frotteur X_1. La palette α_1 étant attirée par l'électro L_1 la tige X_1 X_2 commence à tourner dans le sens de la flèche, et le cliquet r_1 vient s'engager au fond d'une dent de la roue O. Pendant ce mouvement, le frotteur X_1 étant resté appuyé sur le contact m_1 le circuit de manœuvre n'a pas changé, mais le frotteur X_2 s'est dégagé du contact m_2, de sorte que l'électro aimant L_2 se trouve isolé pendant tout le reste de la manœuvre.

A partir du moment où le cliquet r_1 est venu en prise avec la roue dentée O, celle-ci suit le mouvement d'attraction de la tige mobile et les manettes du distributeur entrent en rotation en passant par les positions II, III et IV avant d'arriver à la position finale V. Dans la période II, la manette C se trouve sur la touche 17 et la manette B n'a pas encore pénétré sur la touche 16; le frotteur X_1 se trouve toujours sur le contact m_1 et le circuit de manœuvre est le même qu'en position I *bis*.

Dans la période très courte III, la ma-

nette C n'a pas encore quitté la touche 17, mais la manette B est déjà arrivée sur la touche 16; le frotteur X_1 qui est plus large que l'intervalle des deux contact m_1 n_1 appuie sur ces deux contacts à la fois ; le courant de manœuvre arrive de la dynamo G à la manette A et à la touche 16, puis se divise en deux circuits: une première partie passe par la touche 17, la manette C et le contact m_1 et une seconde partie par la touche 16, la manette B et le contact n_1; les deux circuits se réunissent ensuite par le frotteur X_1 pour arriver à l'électro L_1.

Dans la période IV, la manette C a quitté la touche 17 et la manette B reste seule appuyée sur la touche 16; le frotteur X_1 est passé entièrement sur le conctact n_1 et le courant de manœuvre suit alors un seul circuit en passant des touches 16 et 17 à l'électro L_1 par la manette B, le contact n_1 et le frotteur X_1. A la fin de cette période la palette α_1 étant arrivée à son point de butée la roue

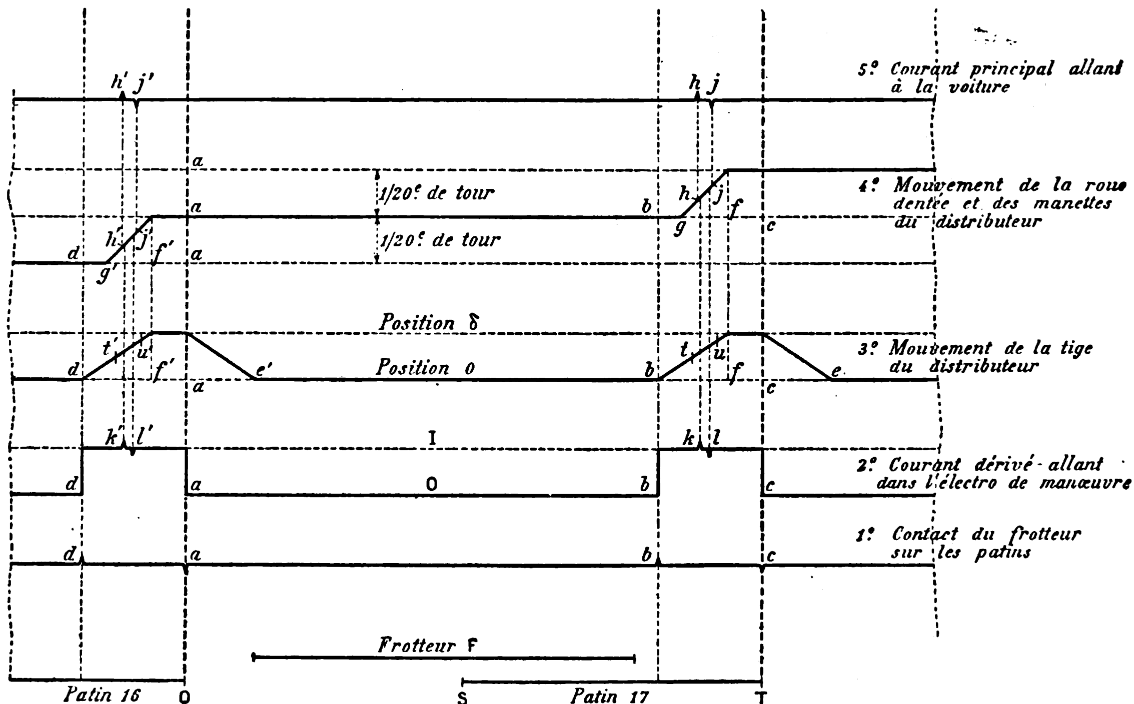


Fig. 3. — Graphique du mouvement des divers organes de distribution en fonction du temps.

dentée O et le distributeur se trouvent avoir tourné exactement de 1/20 de tour ; les manettes restent alors immobiles dans cette position (V) jusqu'à la prochaine manœuvre. Toute la manœuvre est effectuée avant que le frotteur de la voiture ait quitté le patin 16 ; an moment où le frotteur quitte ce patin, la touche 16 n'étant plus reliée à la touche 17 qui fournit le courant principal, le courant de manœuvre qui se dérivait par la touche 16 et la manette B se trouve coupé. La palette α_1 n'étant plus attirée par l'électro-aimant L_1 la tige X_1 X_1 est ramenée à sa position de repos par le ressort de rappel. Dans ce mouvement le cliquet r_1 sort de la dent dans laquelle il était engagé et rend libre, c'est à dire immobile, la roue à rochets O.

Dans le cas où la voiture marche en sens inverse, la manœuvre du distributeur se produit d'une manière analogue par l'action de l'électro-aimant L_1.

Les graphiques de la figure 3 montrent d'une manière résumée les phases successives de fonctionnement des divers organes du tramway. En supposant la voiture animée d'une

vitesse uniforme, 12 km à l'heure par exemple, on peut compter le temps écoulé d'après le chemin parcouru par un mobile se déplaçant sur la voie Q S T. Les phénomènes se reproduisant périodiquement après un laps de temps correspondant à la distance Q T de 5 m, égale à un patin S T plus un intervalle S Q entre 2 patins, il suffit d'examiner ce qui se passe pendant cette période Q T de 1,5 seconde.

Dans l'intervalle Q S, de 2,40 m, compris entre 2 patins le frotteur F de la voiture n'appuie que sur le patin 17. De S en *b*, sur 1,70 m, le frotteur continue à appuyer uniquement sur le patin 17. De *b* en T, sur 0,90 m, le frotteur appuie à la fois sur le patin 17 et sur le patin 18. A partir du point T le frotteur F n'est plus en contact qu'avec le patin 18. On a donc contact (graphique 1°) du frotteur avec un patin, 17 par exemple, pendant la période *a b* soit 1,23 seconde et contact avec 2 patins pendant la période *b c* soit pendant 0,27 seconde seulement.

Le courant dérivé qui passe dans l'électro-aimant de manœuvre suit exactement le mouvement du frotteur : pendant la période *a b*, (graphique 2°) soit 1,23 seconde, aucun courant ne passe dans l'électro et pendant la période *da*, *bc*, soit 0,27 seconde, l'électro est parcouru par un courant de manœuvre I.

Le mouvement de la tige $X_1 X_2$ (fig 2) du distributeur se produit pendant une période *b e* (fig. 3, graphique 3°) un peu supérieure à la durée de passage du courant dans l'électro et comprend 3 phases différentes : de *b* en *f* l'armature est attirée et part de sa position de repos *o* à sa position de calage δ ; elle reste ensuite immobile dans cette dernière position pendant l'intervalle *f c* puis met un certain temps *c e* pour revenir, après la rupture *c* du courant, de sa position de calage δ à sa position de repos *o*. La durée de ces diverses phases n'est pas connue exactement, on ne peut que l'évaluer approximativement. On peut admettre, en se plaçant dans les conditions du fonctionnement le plus lent des appareils, que la tige doit rester dans sa position de calage δ pendant 0,09 seconde; elle doit donc passer de la position de repos à la position de calage dans un espace de temps *bf* de 0,18 seconde. Elle ne reviendra alors au repos en *e* qu'environ 0,18 seconde après la rupture du courant *c*, et la période complète de mouvement *be* de la tige du distributeur se trouvera portée ainsi à 0,45 seconde.

La durée *gf* (graphique 4°) du mouvement de la roue dentée et des manettes du distributeur est beaucoup plus courte que la période de mouvement *be* de la tige et même un peu plus courte que la période d'attraction *bf* de cette tige, parce que la roue n'est entraînée qu'après la période *bg* d'enclenchement du cliquet qui peut être évaluée à 0,06 seconde environ ; la rotation *gf* de la roue de 1/20 de tour s'effectue donc en 0,12 seconde environ.

C'est pendant cette période *gf* que les manettes du distributeur avancent d'une touche, par exemple de la touche 17 à la touche 18. La manette intermédiaire (A fig. 2) se meut sur la touche 17 pendant la période *gh* (fig. 3) de 0,045 seconde environ, appuie à la fois sur les 2 touches 17 et 18 pendant la période *hj* de 0,030 seconde environ et se meut sur la touche 18 seule pendant la période *jf* de 0,045 seconde. L'interversion du courant principal de la voiture (graphique 5°) se fait donc presque instantanément pendant la période *hj* où la manette intermédiaire est en contact avec les deux touches; dans cette période *hj* de 0,030 seconde le moteur de la voiture reçoit le courant à la fois par le fil de branchement de la touche 17 (fig. 2) et par le fil de la touche 18; la voiture reçoit le courant de chacun des branchements respectifs pendant une période *j' h* de 1,484 seconde.

Pendant la rotation *gf* du distributeur les 2 manettes extrêmes B et C (fig. 2) avancent chacune d'une touche. Le déplacement relatif de ces manettes agit sur la distribution du courant dans l'électroaimant de manœuvre.

Le courant de manœuvre passe par la manette C pendant la phase *bh* (graphique 4°, fig. 3) tant que la manette C se meut sur la touche

17 sans que la manette B ait atteint la touche 16 (position II, fig. 2); il passe à la fois par la manette C et par la manette B pendant la très courte phase *k l* (fig. 3), de 0,020 seconde environ, où la manette C est encore en contact avec la touche 17 tandis que la manette B a déjà pénétré sur la touche 16 (position IV, fig. 2); le courant de manœuvre passe ensuite uniquement, de *l* en *c*, (fig. 3) par la manette B à partir du moment où la manette C a quitté la touche 17 (position V, fig. 2).

Pour que l'électroaimant de manœuvre reçoive son courant d'une façon permanente

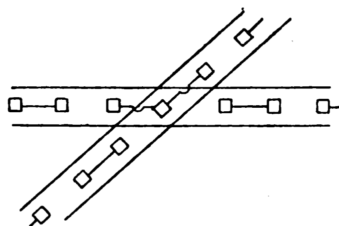


Fig. 4. — Croisement de voies.

pendant ce déplacement des manettes il suffit que la tige $X_1 X_2$ du distributeur (fig. 2) appuie à la fois sur les 2 touches de commutation m_1 m_2 (fig. 2) pendant une période *t u* (graphique 3°, fig. 3) dont la durée n'a pas d'importance pourvu qu'elle soit légèrement supérieure à la période *k l*.

Il nous reste à examiner, pour en avoir fini avec la partie théorique du tramway, le fonctionnement dans les croisements et les aiguillages.

Lorsque deux voies distinctes se coupent, on dispose les patins comme l'indique la figure 4, de manière à avoir au centre du croisement un pavé métallique, placé obliquement et formant pavé commun à un patin de chacune des lignes. Le patin commun est relié respectivement à une touche quelconque d'un distributeur de chaque ligne pourvu que cette touche ne soit pas une des 2 dernières du distributeur. Lorsqu'un véhicule pénètre au point de croisement, sur l'une ou l'autre des lignes, le circuit de sa voiture se trouve mis en relation avec les 3 pavés centraux et par conséquent avec la touche reliée au patin commun dans le distributeur de chaque ligne. Mais cette touche ne forme un circuit fermé que dans le distributeur de la ligne parcourue par la voiture ; le distributeur de l'autre ligne étant dans sa position de repos, la touche mise en relation avec la voiture restera isolée. La voiture traversera donc le croisement et continuera ensuite sa marche sans influencer le distributeur de l'autre ligne.

Les aiguillages sont toujours établis à la fin d'une section de distribution D (fig. 5) de la voie unique, de façon qu'à partir de l'aiguille commence sur chacun des deux branchements une section nouvelle alimentée par un distributeur distinct D' ou D''. Le patin 19 - 0' - 0'' qui précède l'aiguille est commun aux 3 lignes : il est relié à la touche 19 du distributeur D et forme avant-dernier patin de la voie unique ; il est relié en même temps aux touches 0' du distributeur D' et 0'' du distributeur D'' et forme premier patin de chacun des branchements. Sous l'aiguille se trouvent 2 patins rapprochés l'un de l'autre et formant le second patin de chacun des branchements : le patin 20-1' est relié à la touche 1' du distributeur D' et le patin 20-1'' à la touche 1'' du distributeur D''. Le dernier patin de la voie unique, c'est à dire celui qui se trouve relié à la touche 20 du distributeur D, est constitué par l'un des 2 patins 20-1' ou 20-1'' suivant que l'aiguille électrique Y est en contact avec l'un ou l'autre de ces deux patins d'après le sens de l'aiguillage. On reconnaît facilement, en examinant comme nous l'avons fait plus haut, le fonctionnement des appareils au moment du passage d'une section à une autre (voir fig. 1) que s'il y a à la jonction 2 patins communs reliés en croix aux deux distributeurs au lieu d'un seul patin commun, c'est parce que ces deux patins jouent alternativement le rôle de dernier et avant-dernier patins ou bien de

avant-dernier et dernier patin, de la section quittée, suivant que le véhicule marche dans un sens ou dans l'autre. On voit également (fig. 1) que pour un sens de marche déterminé le mouvement simultané des 2 distributeurs se produit sur celui des patins qui est dernier patin de la section quittée et second patin de la section attaquée. Rien ne se produit lorsque le frotteur appuie sur celui qui forme avant-dernier patin de la section quittée et premier patin de la section attaquée; les connexions de ce patin restent ouvertes et se comportent comme si elles n'existaient pas. Il suffit d'appliquer cette règle pour se rendre compte du fonctionnement de l'aiguillage dans tous les cas possibles.

Supposons d'abord une voiture arrivant sur la voie unique par l'un ou l'autre des branchements. Dans ce cas le patin 20-1′ ou 20-1″ forme l'avant-dernier patin de la section quittée et l'aiguille Y forme le premier patin de la section attaquée, c'est à dire jouent tous deux un rôle inerte. Il est donc indifférent que l'aiguille soit en contact avec le patin du branchement en marche ou avec le patin de l'autre branchement ou soit même dans une position intermédiaire. Le passage du branchement à la voie unique, c'est à dire le fonctionnement simultané des deux distributeurs se fera seulement au moment où le frotteur de la voiture appuiera sur le patin 19-0′-0″ formant dernier patin de la section quittée et second patin de la section attaquée.

Si l'on veut au contraire passer de la voie unique à l'un ou l'autre des branchements, il faut au préalable mettre l'aiguille sur le branchement que l'on veut attaquer, en mettant en contact par exemple la pièce Y avec le patin 20-1′. Dans ce cas les distributeurs D′ et D″ resteront au repos lorsque la voiture passera sur le patin 19-0′-0″, puisque c'est l'avant-dernier patin de la voie quittée et le premier patin des deux branchements. Lorsque le frotteur de la voiture arrivera sur le patin 20-1′ et l'aiguille Y, formant ensemble dernier patin de la section quittée et second patin de la section 20-1′-2′ attaquée, les deux distributeurs D et D′ fonctionneront simultanément et la voiture passera sur le branchement 20-1′-2′; quant au distributeur D″, il continuera à rester au repos, puisque son second patin 20-1″ est isolé de l'aiguille Y.

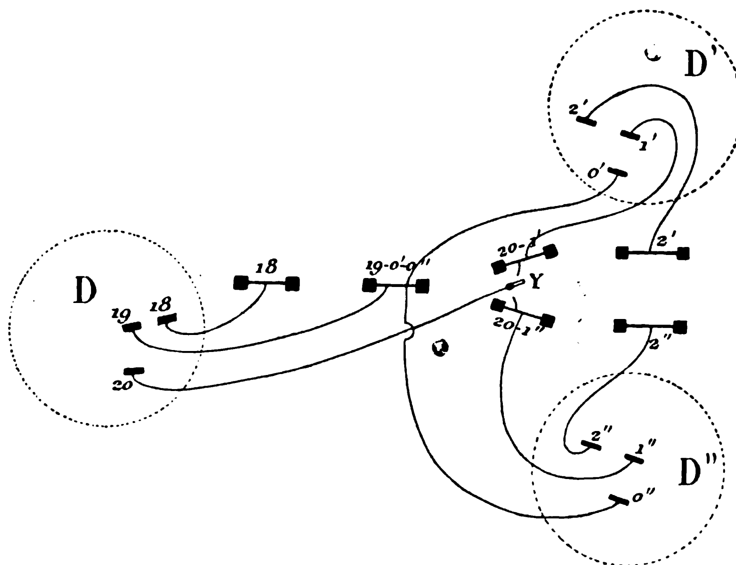


Fig. 5. — Schéma d'un aiguillage.

L'aiguillage électrique se fait donc de la même manière que l'aiguillage mécanique.

Dans le cas particulier du tramway de Romainville, presque toutes les aiguilles commandant de simples garages, sont abordées en pointe du même côté et peuvent par conséquent être maintenues à demeure dans leur position normale de droite.

Il est évident, d'après le principe même du fonctionnement des appareils, que les piétons et les chevaux circulant sur la voie n'ont pas à craindre de recevoir une décharge de

500 volts, puisque les patins métalliques de la voie ne restent électrisés que pendant la période où ils sont couverts par un véhicule — tant que les appareils marchent régulièrement. Mais si pour une cause quelconque, telle que mauvais contact, retard dans l'attraction de l'électro, etc., le distributeur vient à s'arrêter, par exemple au moment où la manette centrale M est sur la touche t_1 (fig. 6), le patin A_1 reste relié en permanence au pôle positif de la dynamo par le fil de branchement a_1 et la manette M. Le véhicule ne s'arrête pas instantanément; il continue sa marche pendant un certain temps, en vertu de la vitesse acquise, quoique son moteur D ne reçoive plus de courant dès que le frotteur *ff″* a quitté le patin A_1. Mais le patin A_1, qui est resté relié à la dynamo, n'étant plus alors

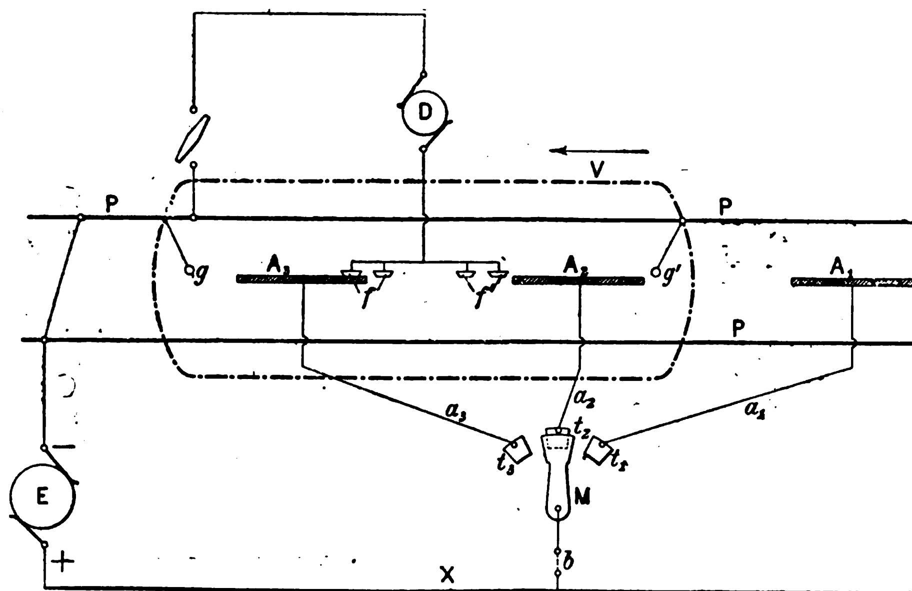


Fig. 6. — Dispositif de sûreté

couvert par la voiture deviendra accessible aux passants circulant sur la voie. Afin de ne pas exposer les piétons à des secousses désagréables, chaque véhicule porte un dispositif de sûreté très simple qui coupe la communication du câble de distribution X avec la voie dans le cas d'un dérangement du distributeur. Ce dispositif consiste en deux petits galets *g* et *g'* frottant sur la voie sectionnée et placés aux deux extrémités de la voiture, l'un servant pour la marche en avant et l'autre pour la marche en arrière. Ces galets sont fixés sur le châssis sans isolement et se trouvent ainsi reliés électriquement à la voie de roulement P qui sert de conducteur de retour au courant. Un coupe-circuit fusible est placé sur le branchement principal *b* reliant le distributeur M au câble d'alimentation isolé X. La distance qui sépare les galets *g* ou *g'* de l'extrémité *f* ou *f'* du frotteur est supérieure à la longueur d'un patin A_1 A_2 A_3, de sorte qu'en marche normale les galets n'appuient jamais que sur des patins isolés. Par exemple lorsque le galet *g'* arrive sur le patin A_1, le frotteur l'a déjà quitté et par conséquent la manette M est passée sur la touche t_2, si le distributeur marche bien. Mais si le distributeur ne fonctionne pas, la manette M restant sur la touche t_1, le câble d'alimentation X se trouve relié en court circuit à la voie de roulement ou conducteur de retour P, au travers de la manette M de la touche t_1 du patin A_1, du galet *g'*, du châssis et des roues du véhicule. Le coupe-circuit *b* fondra aussitôt et rompra ainsi toute communication de la voie sectionnée avec la dynamo. Il n'y aura

donc plus aucun danger à toucher les patins A, A, lorsqu'ils auront été découverts par la voiture.

Un autre cas peut se présenter, ainsi que nous l'avons déjà montré à propos du tramway de Lyon [1], où des patins en relation avec la dynamo se trouvent découverts parce que la voiture a continué à marcher quelque temps après la suppression du courant dans son moteur. Tout se passe régulièrement tant que les voitures se succèdent à une distance supérieure à l'intervalle de 95 mètres qui sépare deux sections de distributeurs. Mais si au moment où le véhicule aborde une section nouvelle cette section est encore occupée par une voiture située à moins de 95 mètres en avant, le courant n'arrivera plus dans le moteur puisque la manette du nouveau distributeur ne sera pas encore revenue à la position de repos qu'elle doit occuper pour que le passage d'une section à l'autre puisse s'effectuer. Mais en vertu de la vitesse acquise, la voiture continuera à marcher pendant un certain temps et dépassera ainsi le dernier patin de la section quittée, c'est à dire qu'elle s'arrêtera et qu'il sera impossible de la remettre en marche avant d'avoir ramené à la main la manette du nouveau distributeur sur la touche correspondant au patin sur lequel le véhicule sera arrêté.

A l'inverse du précédent, ce genre d'incident n'a aucune influence sur la sécurité de la voie et ne fait même pas agir le dispositif de sûreté, car au moment où la voiture abandonne le dernier patin de la section quittée, le distributeur de cette section s'arrête à sa position de repos où tous les patins de la section en question sont isolés. Quant aux premiers patins de la nouvelle section découverts après le passage de la voiture, ils sont également isolés, puisque, la section étant occupée, la manette du nouveau distributeur se trouve déjà sur des touches plus éloignées.

(A suivre.)

Ch. JACQUIN.

[1] Voir. *L'Éclairage Électrique* 4 mai 1895, p. 218.

CONTRIBUTION

A L'ÉTUDE DES COURANTS TELLURIQUES

OBSERVÉS SUR DES CONDUCTEURS INCLINÉS SUR L'HORIZON

A LA STATION MÉTÉOROLOGIQUE DU VÉSUVE EN 1895

L'origine des courants tellurriques, découverts en Italie par Magrini vers 1840 et étudiés par de nombreux physiciens de toutes les nations civilisées, est encore mal connue et les lois qui les régissent ne sont pas nettement formulées. Beaucoup d'observateurs jugèrent bon de placer des conducteurs dans le sens du méridien magnétique ou terrestre ainsi que dans une direction perpendiculaire à la première. Ils appelèrent courant *méridien* celui qui parcourait les premiers de ces fils et courant *équatorial* celui qui traversait les seconds. Le plus souvent, ils constatèrent que le courant *méridien* était dirigé du nord au sud, l'*équatorial* allant de l'est à l'ouest, d'où Battelli conclut que la direction réelle était nord-est-sud-ouest.

En 1857, j'observai sur des fils inclinés sur l'horizon dans des azimuts quelconques, que les courants telluriques étaient dirigés de bas en haut, c'est à dire ascendants. Faute de moyens, je ne pus poursuivre ces études que je dus remettre à une époque ultérieure. Plus tard, Matteucci en Toscane, Ragona à Modène, Brander au Saint-Gothard, d'autres encore que j'ai cités dans de précédents mémoires, eurent l'occasion d'observer des phénomènes identiques, mais n'y attachèrent pas d'importance. Tout cela éveillait en moi le désir de reprendre ces observations avec des conducteurs inclinés sur l'horizon. Je ne trouvai qu'en 1889 les facilités nécessaires, lorsque le Ministre des Postes et Télégraphes, M. Lacava, me concéda une ligne électrique spéciale qui fut établie par les soins de M. l'Inspecteur Ch. Jurgens.

J'ai parlé de cette installation dans de précédentes notices. Je crois devoir en rappeler rapidement les dispositions d'ensemble pour

ceux des lecteurs qui ne connaissent pas les mémoires antérieurs.

Une salle d'observations est placée au Vésuve (voir fig. 1) à 637 m d'altitude. De ce point partent 2 fils B, C. Le premier, long de 8 kilomètres, est dirigé vers le sud-ouest (Résina) où il aboutit à un puits d'eau vive. Il prend terre par une lame de cuivre de 0,50 cm² plongeant dans le puits. Le second fil, plus court, se dirige vers le nord-est et prend terre dans la vallée dite *Fosso della Vetrana*. La plaque de cuivre, égale et identique à la première, est enfoncé à 4 mètres de profondeur dans un sol composé de terre végétale et de débris volcaniques des temps

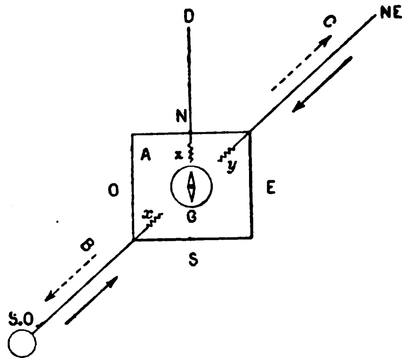


Fig. 1.

préhistoriques, la station du Vésuve étant, comme on le sait, placée sur une crête du mont Somma. Ces terrains, dénommés par les habitants *terres vieilles*, remontent à une époque antérieure à la période historique du Vésuve, qui a commencé en l'an 79 de l'ère vulgaire. Les deux conducteurs précités se trouvent dans le même azimut, c'est à dire, sud-ouest, nord-est. De la station part aussi un troisième fil D, qui, dès sa sortie rencontre la toiture en plomb d'une salle contigüe à celle des appareils. Ce plomb est en contact avec le conducteur du paratonnerre sur lequel est soudé le troisième fil qui se trouve ainsi relié à l'édifice même et que j'appelle pour cette raison, *fil de terre local*.

Dans la salle d'expériences se trouve un appareil galvanométrique G, auquel on peut rattacher les conducteurs x, y, z en les disposant deux à deux de façon à intercaler le galvanomètre dans le circuit ainsi formé. On pourra relier par exemple, à travers l'appareil, les brins x et z pour observer le courant du fil B, ou bien y et z pour observer le courant du fil C.

La figure 1 représente l'installation en projection horizontale ; la figure 2 en montre une coupe selon l'azimut sud-ouest, nord-est. Si l'on fait communiquer avec l'appareil les extrémités x du fil B et z du fil D, on trouve que le courant est ascendant dans le fil B, en temps normal : on trouve aussi que le courant est ascendant si l'on relie y à z. Si l'on intercale le galvanomètre entre les fils B et C on trouve enfin un courant très faible égal à

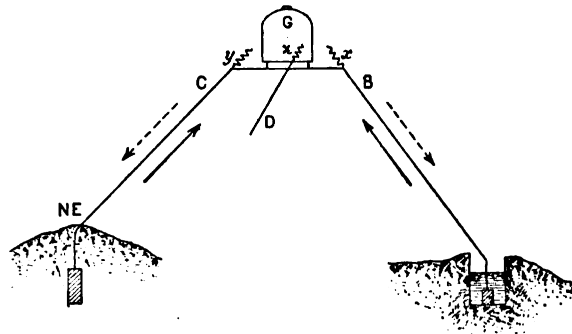


Fig. 2.

la différence des deux autres. Lorsque le courant change de sens comme nous le verrons plus loin, pour devenir descendant, cet effet se produit aussi bien dans le fil B que dans le fil C.

D'une manière générale, le courant de B est toujours plus intense que celui du fil C qui est plus court ; mais cependant on a pu voir, lors du récent tremblement de terre des Calabres en 1894-95, le courant du conducteur le plus court l'emporter en intensité sur celui du fil le plus long. Et maintenant même, bien que le séismisme des Calabres paraisse avoir pris fin, le courant du fil le plus court, quoique réduit à la moitié de l'intensité qu'il avait pu atteindre, l'emporte encore de près du double sur celui du fil le plus long : il faut remarquer que de légères secousses ont été tout récemment ressenties à Naples et dans les pays environnants, tels que Caserta, Bénévent, Avellino, etc. et dans l'Italie supérieure.

Les appareils employés pour évaluer l'intensité de ces courants sont : un galvanomètre astatique à long fil et à double isolement, un rhéomètre déjà décrit dans une précédente Note (¹) un galvanomètre apériodique de d'Arsonval et en dernier lieu celui de Ducretet, à circuit mobile.

En 1889 l'activité du Vésuve étant dans une période de décroissance marquée, je pus constater que les courants telluriques étaient ascendants ; de sorte que si les fils dirigés vers le SO et vers le NE avaient été d'égale longueur, il y aurait eu deux courants ascendants égaux et, par suite, le rhéomètre placé à l'Observatoire à la rencontre de ces deux conducteurs aurait marqué zéro. Mais ces fils étant de longueur inégale et d'inégale inclinaison (celui du NE étant plus court) le courant du conducteur SO se montrait plus intense que l'autre et le rhéomètre indiquait leur différence d'intensité.

Enfin en 1891 l'activité du Vésuve commençant à croître, il m'arriva de constater le 6 juin (jour où il y avait éclipse partielle de soleil) de singulières inversions des courants telluriques qui devinrent descendants dans chacun des fils et trop intenses pour la sensibilité de l'appareil astatique de Nobili exclu-

Fig. 3.

sivement employé jusqu'alors. Cette circonstance me conduisit à utiliser conjointement avec l'instrument précité, un rhéomètre et un galvanomètre apériodique de D'Arsonval et plus tard l'apériodique de Ducretet à circuit mobile, pour avoir la facilité d'observer des courants d'intensités très différentes bien que mon rhéomètre puisse, à l'aide d'un simple artifice, acquérir une sensibilité très variable.

Quand cette phase éruptive déclina les courants, qui étaient devenus descendants, subirent d'abord une grande diminution d'intensité, tombèrent à zéro puis redevinrent ascendants. Ce changement ne s'opéra pas simultanément dans les deux conducteurs : le courant du SO, devint ascendant quelques heures avant celui du fil NE.

Fait à noter : lorsque parfois le courant du SO est ascendant et celui de NE descendant, le rhéomètre intercalé entre les deux conducteurs devrait indiquer la somme des courants;

(¹) Le rhéomètre déjà décrit précédemment (voir *Éclairage Électrique*, nº 4, du 6 octobre 1894) est une modification de l'appareil Marianini. C'est en substance un cadre galvanométrique court et large sur lequel repose un cercle gradué. Au dessus de ce cercle peut tourner une aiguille un peu forte, suspendue par un fil de cocon, de telle façon que les spires du cadre lui soient parallèles. On aurait ainsi un galvanomètre peu sensible ; mais on le rend délicat en enfonçant dans l'intérieur de la bobine plate une lame de fer doux. En temps normal, l'aiguille reste au repos : si, au contraire, le courant passe, elle est repoussée par la lame intérieure momentanément aimantée. En élevant ou abaissant l'aiguille, on peut faire varier la sensibilité de l'instrument. L'appareil est presque apériodique. Comme il n'est pas sensible aux influences qui troublent le galvanomètre de Nobili, il peut remplacer celui-ci.

Il présente un inconvénient qui est le suivant. Sous l'influence d'un courant trop énergique, la lame intérieure en fer doux peut rester légèrement aimantée : l'aiguille ne revient pas alors exactement au zéro. En plaçant la lame en sens inverse et faisant passer un courant, on la désaimante aisément ; sinon on la remplace par une autre et on la recuit. Il se produit d'ailleurs, avec le temps, ce phénomène qui mérite les recherches des physiciens, que les lamelles perdent peu à peu la propriété de s'aimanter. Il y a là un fait singulier touchant l'hystérésis, sur lequel j'ai déjà appelé l'attention.

J'ai pu mettre en service ou plutôt à l'essai le galvanomètre d'Arsonval, modifié par Ducretet et que ce dernier constructeur a réussi à rendre enregistreur. Je ne crois pas néanmoins devoir m'en tenir à la méthode graphique, parce qu'à l'altitude de l'Observatoire du Vésuve, lors des grandes pluies ou des bourrasques, les instruments recevant par les fils de très forts courants, courent le risque d'être foudroyés.

L. P.

or, il indiquait *moins* que la différence. Cette situation se maintint quelque temps, après quoi les courants redevinrent ascendants.

En 1893 une nouvelle fissure radiale s'ouvrit sur le cône, émettant des laves à sa base. Celles-ci durèrent jusqu'en février 1895. Dans cette période éruptive les laves furent plus abondantes et elles sortaient dans l'*Attrio del Cavallo* avec une remarquable énergie. Les courants telluriques devinrent alors descendants et l'on recommença à voir la plus forte intensité se manifester dans le fil le plus court, celui du NE.

Quand les cônes adventifs qui s'étaient élevés dans l'Attrio del Cavallo diminuèrent d'activité, le cratère central devint plus actif, lançant de nombreux projectiles incandescents, avec mugissements et détonation. Les courants telluriques qui étaient allés en diminuant reprirent une nouvelle intensité, variant souvent d'un jour à l'autre; ils augmentaient particulièrement à l'époque des syzygies et diminuaient à celle des quadratures : en outre ils concordaient avec les augmentations et les diminutions du tremblement de terre de Calabre (1894-1895).

Au mois de mai de cette dernière année, l'activité du cratère central semblait faire place au repos complet, le cône d'éruption commençait à s'écrouler (¹), lorsqu'une nouvelle fissure radiale s'ouvrit sur le cône du Vésuve et une lave abondante commença à couler par la partie inférieure de cette fente, avec une tranquillité inusitée, en sorte qu'il se forma à peine deux petits cônes adventifs que je pus faire détacher et transporter à l'Observatoire. Alors les courants telluriques s'accrurent d'une manière extraordinaire, se maintenant toujours descendants et soumis comme les laves aux lois des syzygies déjà rappelées. Ces laves qui duraient encore lors de l'impression du présent Mémoire (mars 1896) coulent aujourd'hui plus faiblement : les courants telluriques eux aussi ont subi une notable diminution, mais ils se maintiennent descendants et conservent une intensité très appréciable.

Il semble résulter en somme de tout ce qui précède :

« 1° Que les courants telluriques, étudiés
» avec des fils inclinés sur l'horizon, sont di-
» rigés de bas en haut, quel que soit l'azimut
» dans lequel se trouvent les fils. Ceci est
» prouvé par les observations commencées
» par moi en 1857, que je ne pus poursuivre
» tout d'abord faute des moyens nécessaires,
» et que d'autres ont faites depuis sans y atta-
» cher d'importance.

» 2° Que les observations poursuivies jus-
» qu'à ce jour prouvent la relation étroite qui
» existe entre ces courants et l'activité érup-
» tive du volcan voisin.

» 3° Qu'il y a un rapport entre eux et les
» agitations du sol à certaines distances.

» 4° Que lorsqu'un fil dirigé vers une hau-

(¹) Aux yeux des personnes peu familiarisées avec les phénomènes volcaniques, il peut y avoir une certaine contradiction entre les termes de ce passage disant que le calme complet succédait à l'agitation volcanique et ajoutant que des effondrements de cônes éruptifs s'opéraient, ce qui semblerait indiquer un travail appréciable. Pour justifier cette contradiction apparente, il nous paraît utile de rappeler brièvement ce qui se passe dans l'ensemble d'une éruption. En général, il y a poussée de matières en fusion ou laves qui remplissent plus ou moins la cuvette appelée cratère et s'en échappent soit en déversoir, par dessus les bords supérieurs, soit par des orifices latéraux constitués par des fissures qui s'ouvrent radialement aux flancs du volcan. Le plus souvent l'écoulement de la lave se fait par les cônes adventifs d'éruption qui se forment aux points d'échappement, comme celui d'une veine liquide s'écoulant d'un réservoir par un ajutage divergent. Quand le cratère proprement dit ou les nouvelles bouches ont cessé d'être en activité, les couches extérieures se coagulent pour ainsi dire et forment croûte. Après le retrait des matières en fusion qui redescendent dans les profondeurs du volcan, les croûtes et les cônes éruptifs n'étant plus soutenus s'effondrent, tantôt progressivement, tantôt brusquement, laissant à découvert des gouffres profonds ou des cirques de grande dimension. Certains de ces écroulements, devenus célèbres, ont abaissé parfois le sommet de volcans de plusieurs centaines de mètres. C'est cette période de dislocations qui caractérise la phase de *retour au calme* après l'affaissement des laves. C'est à elle que fait allusion le passage ci-dessus. (Note du traducteur).

» teur, une cime, est ramené ensuite vers le » bas pour prendre terre, soit dans un même » azimut, soit dans des azimuts différents, on » obtient deux courants distincts, ou tous les » deux ascendants ou tous les deux descen- » dants ; c'est pourquoi si l'on coupe le con- » ducteur au point le plus élevé pour y inter- » caler un rhéomètre, ce dernier donnera la » plus faible indication et si les fils sont de » longueur convenable, pourra même indi- » quer *zéro*, résultat tout à fait nouveau et » inattendu.



Fig. 5

« 5° On ne peut donc rien conclure, quant « à la direction, au sujet des courants telluri- « ques obtenus avec des fils *méridiens* ou « *équatoriaux* supposés horizontaux, comme « on l'a fait jusqu'à présent, si l'on n'a pas « la certitude absolue que les conducteurs « ont une horizontalité parfaite. »

D'après les observations que j'ai poursuivies assidûment pendant 7 années, je crois pouvoir dire que les courants suivant la direction normale, c'est à dire ascendants, sont plus troublés, plus facilement influencés par les fortes tensions électriques de l'air qui se produisent lors des grandes chutes de pluie (surtout d'orage), tandis que les courants descendants semblent ne ressentir que faiblement l'influence de ces perturbations.

Etant donné l'ensemble de ces faits bien certains, je pense qu'il convient de reprendre par la base cette question des courants telluriques, en les étudiant principalement en dehors des régions volcaniques actives, tant avec des conducteurs parfaitement horizontaux, qu'avec des conducteurs inclinés sur l'horizon. Il faudrait voir si les courants que donnent ces derniers fils subissent des inversions, comme cela a lieu près d'un volcan en travail et, dans l'affirmative, si ces inversions correspondent à des tremblements de terre locaux ou éloignés, ou bien à d'autres phénomènes cosmo-telluriques.

Après les études faites sur cette question, par Matteucci, je crois inutile de revenir sur

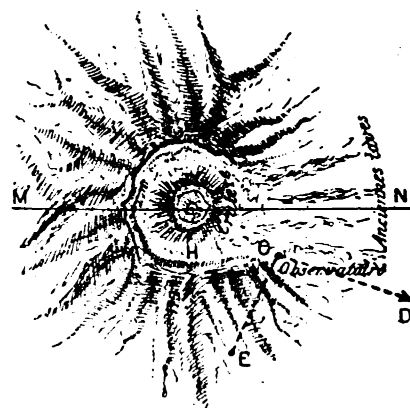


Fig. 5

les hypothèses d'une origine électrochimique pour ces courants, attendu que, comme je l'ai fait connaître dans un précédent mémoire les fils qui ont servi à mes recherches allaient prendre terre tantôt dans un puits, tantôt dans la terre végétale, tantôt dans des terrains semi-volcaniques, sans qu'il y eut jamais changement de direction.

L. Palmieri.

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES SUR LES SYSTÈMES OSCILLANTS (1)

§ 5. Mesure de T.

La mesure des oscillations d'amplitudes moyennes, faiblement amorties, ne présente aucune difficulté, il suffit d'en compter un nombre suffisant pour que la mesure du temps soit

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 395, 30 mai 1896.

faite avec une erreur inférieure à celle qu'on s'est fixée comme limite ; mais lorsque l'amortissement est grand, la durée courte ou le zéro instable, il y a lieu de prendre certaines précautions.

La durée d'une oscillation peut se mesurer entre deux élongations successives, ou entre deux passages consécutifs au zéro ; le second moyen est le plus précis, car à ce moment, le mobile est animé d'une certaine vitesse et l'on peut saisir assez nettement l'instant du passage. Au contraire en observant l'instant de l'élongation, la vitesse est minimum et le temps que le mobile met à se déplacer d'une quantité appréciable à l'œil est assez long pour amener une indécision notable dans la détermination du moment de l'élongation ; il vaut donc mieux observer le passage au zéro. Toutefois lorsque les oscillations sont rapides et l'amortissement faible, la vitesse de passage au zéro est trop grande et l'observateur a une perception moins nette de l'instant ; dans ce cas, il faut observer les élongations et compter un nombre d'oscillations n supérieur à m si l'on s'est imposé une erreur $< \frac{1}{m}$.

Le moyen le plus simple consiste à employer un compteur de secondes ; après avoir imprimé une oscillation au mobile, on place l'œil en face du point qui sera atteint à l'élongation suivante ; au moment de celle-ci, on déclanche brusquement le compteur en comptant 0 ; puis, sans se déplacer autrement que pour suivre le décroissement des élongations, on observe successivement les élongations qui se produisent aux temps $2T$, $4T$ et $2nT$, il faut donc compter $0, 2, 4, \ldots 2n$; à la n^e élongation on arrête le compteur et le quotient du temps t lu sur le compteur par le nombre d'oscillation donne la durée d'oscillation

$$T = \frac{t}{n}.$$

Cette méthode est la seule applicable lorsque le mobile n'a pas son zéro fixe ; si l'on veut une grande précision il faut que λ soit plus petit que 1, ou alors il faut observer le passage au zéro, ce qui exige une grande fixité de celui-ci.

On pourrait être tenté, pour augmenter la vitesse du mobile et par suite la précision des mesures, quand l'amortissement est grand, de donner une première élongation très grande; il faut se garder de dépasser les limites où l'instrument cesse d'être proportionnel, car autrement, on introduit des erreurs dues aux variations du couple et des forces amortissantes ; pratiquement, avec les appareils à miroir, la première élongation ne doit pas être supérieure à 250 divisions d'une échelle placée à 1 000 divisions du miroir.

Quelle que soit la durée T de l'oscillation mesurée, il faut, si l'on veut atteindre une précision de 1 pour 100, que la durée nT observée soit supérieure à 30 secondes, pour éliminer l'erreur personnelle dont la grandeur varie en raison inverse de l'habitude qu'a l'observateur de ce genre de mesures.

On ne peut guère observer par ce moyen des valeurs de T inférieures à 0,2 seconde; dans ce cas en effet, il est très difficile de compter à haute voix ou mentalement le nombre d'oscillations, il faut alors compter *mécaniquement* en pointant avec un crayon sur une feuille de papier, ou en actionnant un compteur totaliseur, il est nécessaire d'avoir un aide pour débrayer le compteur de secondes; enfin le mieux est encore de disposer d'un chronographe qui inscrit à la fois l'époque et le nombre des oscillations. Un simple dérouleur Morse avec son manipulateur peut, avec une mesure simultanée du temps, rendre de bons services comme chronographe.

Enfin quelle que soit la durée T, il ne faut considérer le résultat comme certain qu'après avoir obtenu plusieurs séries de mesures dans lesquelles nT ne diffère pas de plus de 1 fois T, cela pour éviter les erreurs de numération.

§ 6. Mesure de λ.

Lorsque la durée d'oscillation est longue, la mesure de λ n'offre aucune difficulté. Il suffit d'observer aussi exactement que possible les élongations maxima du mobile préalablement

dévié de sa position d'équilibre et abandonné à lui-même; on note les élongations successives ε_1, ε_2, ε_3..... ε_m, à droite et à gauche du zéro, les différences $\varepsilon_1 - \varepsilon_2, \varepsilon_2 - \varepsilon_3$ etc., donnent les amplitudes a_1, a_2, a_3..... a_n, et λ est donné par l'équation (4).

Les différences $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$, $\varepsilon_2 - \varepsilon_3$, s'obtiennent en donnant aux élongations paires le signe négatif lorsque la division étant marquée 0 au point d'équilibre, les chiffres vont en croissant de chaque côté.

Quand les oscillations diminuent rapidement, on ne peut en observer qu'un très petit nombre; dans le cas contraire, il faut compter un assez grand nombre d'élongations pour que a_n soit environ la moitié de a_1. On peut évidemment vérifier l'exactitude des observations en calculant λ pour plusieurs valeurs de a, par exemple :

$$\lambda = \log_n a_1 - \log_n a_2 = \log_n a_n - \log_n a_{n+1} \text{ etc.}$$

Il est très important dans cette mesure de ne modifier en rien les forces amortissantes; par exemple si la résistance du circuit a une influence sur l'amortissement d'un galvanomètre, il faut la noter et la laisser constante pendant toute la durée de l'expérience.

Dans le cas d'oscillations de courte période, il est assez difficile de suivre le mouvement rapide du mobile; il est préférable lorsqu'on a affaire à un appareil dont l'amortissement est très régulier, comme par exemple un galvanomètre à cadre mobile, de procéder par répétition. Au moyen d'un courant constant, on fait dévier le mobile d'une quantité toujours la même et assez grande, puis on l'abandonne; une première observation indique alors la valeur approximative de la première élongation; on répète l'expérience, en ayant bien soin de ne rompre le courant qu'au moment où le mobile est bien arrêté; en général après deux ou trois observations, on connaît la position exacte de ε_1; on procède de même pour ε_2, etc. Afin de faciliter l'observation lorsque T est très petit, on place l'œil en face de la position présumée de ε_1 et on ne rompt le courant qu'au moment où on se trouve bien placé; on peut aussi cacher avec un écran la plus grande partie de la course du mobile et déplacer cet écran peu à peu jusqu'à ce que son bord arrive à masquer le point où l'élongation se produit; il est très facile avec cette disposition de noter exactement le point ε, car on voit facilement le moment où dans la course le mobile apparaît au delà de l'écran. Nous avons pu de cette manière noter assez exactement des décréments élevés d'oscillations de 0,2 à 0,3 seconde. Comme cette méthode ne s'applique qu'aux instruments à zéro très fixe, on peut se contenter de prendre le rapport $\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_1}$ des élongations au lieu de celui des amplitudes, on a alors ε_0 égal à la déviation permanente imprimée par le courant, ε_1 l'élongation première à partir de zéro.

De la connaissance de λ et T, on déduit $b = \frac{\lambda}{T}$.

§ 7. Mesure de K et W.

Les valeurs de K et W s'obtiennent très facilement par l'addition au mobile d'une masse de forme convenable dont le moment d'inertie K_1 a été déterminé par le calcul en partant du poids et des dimensions géométriques.

Appelons T la durée d'oscillation du mobile seul et λ le décrément logarithmique des oscillations, T_1 et λ_1 les mêmes facteurs lorsque le moment d'inertie est devenu $K + K_1$, l'équation (10) nous donne :

$$K = \frac{T^2}{\pi^2 + \lambda^2} W,$$

$$K + K_1 = \frac{T_1^2}{\pi^2 + \lambda_1^2} W,$$

et

$$K = K_1 \frac{1}{\frac{T_1^2 (\pi^2 + \lambda^2)}{T^2 (\pi^2 + \lambda_1^2)} - 1}.$$

En pratique $\pi^2 = 10$, donc pour une mesure à 1 pour 100 près, on peut négliger les valeurs de $\lambda^2 < 0,1$, c'est à dire $\lambda < 0,3$, dans ce cas on écrit plus simplement

$$K = K_1 \frac{T^2}{T_1^2 - T^2},$$

De la même expérience, nous pouvons déduire, selon que A est ou n'est pas négligeable,

$$W = K_1 \frac{(\pi^2 + \lambda^2)(\pi^2 + \lambda_1^2)}{T_1^2(\pi^2 + \lambda_1^2) - T^2(\pi^2 + \lambda^2)}$$

ou

$$K_1 \frac{\pi^2}{T_1^2 - T^2}.$$

Il faut remarquer que l'erreur commise sur W et sur K ne peut pas être moindre que celle qui affecte K_1, mais qu'il est très important de faire les mesures de T et T_1 avec le plus grand soin, car c'est la différence des carrés de ces deux termes qui se trouve au dénominateur; pour rendre les erreurs dues à ces valeurs aussi petites que possible, il faut choisir un moment d'inertie tel que T_1 soit au moins égal à 2T.

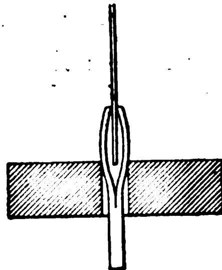


Fig 10.

Dans ce qui précède, nous avons supposé que l'addition de la masse K_1 n'amenait aucune variation de W; pour cela, il faut que *la masse additionnelle soit aussi faible que possible*, tout en ayant un moment d'inertie très grand, et d'une forme telle que l'amortissement ne soit pas trop augmenté, car, ainsi que nous l'avons vu, la mesure T_1 devient alors peu précise.

La meilleure forme à donner à la masse additionnelle est celle d'un disque mince, c'est celle qui augmente le moins l'amortissement par l'air; mais à égalité de masse, si l'on veut obtenir un moment K_1 plus grand, il vaut mieux prendre deux sphères légères et égales que l'on réunit par un balancier fixé sur le mobile. La fixation du disque est un peu plus délicate lorsqu'il s'agit d'un mobile suspendu par un fil; il faut alors ouvrir dans le disque une fente en forme de *secteur étroit* afin de simplifier le calcul du moment d'inertie.

La masse additionnelle peut se faire avec toutes les matières peu denses et homogènes; en général, on se sert d'aluminium, de carton ou même de papier. Dans certains cas, par exemple, pour mesurer le moment d'inertie de l'équipage très léger d'un galvanomètre Thomson, nous avons employé un petit rectangle de papier ou de mica, de dimensions bien mesurées et de poids connu, que nous collions légèrement derrière l'équipage, au moyen d'une petite goutte de vernis; nous mesurions d'abord l'oscillation T, puis T_1 avec le rectangle additionnel, ayant son grand côté vertical et enfin T_2, avec le même rectangle, le grand côté étant horizontal; cette disposition donne deux valeurs K_1 et K_2 qui facilitent le contrôle des résultats en indiquant la précision sur laquelle on peut compter.

Il faut toujours avoir soin de fixer la masse additionnelle de façon à ce que son centre de gravité soit sur l'axe de rotation du mobile, et que son orientation soit bien celle qui a été prévue dans le calcul de K_1; un disque, par exemple, devra avoir son centre sur l'axe de rotation et son plan perpendiculaire à cet axe.

Rappelons ici les formules donnant les moments d'inertie des solides les plus employés :

Disque de rayon r tournant autour d'un axe perpendiculaire à son plan..........................	$K_1 = M \frac{r^2}{2}$
Le même très mince tournant autour d'un de ses diamètres	$K_1 = M \frac{r^2}{4}$
Tige mince rectiligne de longeur l, axe de rotation perpendiculaire au milieu......................	$K^1 = M \frac{l^2}{12}$
Feuille mince rectangulaire tournant autour d'un axe situé dans son plan, passant par le centre de gravité et perpendiculaire au côté de longueur l	$K_1 = M \frac{l_2}{12}$
Parallélipipède, axe de rotation parallèle au côté a et passant par le centre de gravité	$K_1 = M \left(\frac{b^2 + a^2}{12}\right)$
Sphère de rayon r tournant autour d'un de ses diamètres	$K_1 = M \frac{2 r^2}{5}$

Lorsqu'on veut mesurer le moment d'iner-

tie d'un mobile suspendu à un bifilaire, il faut tenir compte de la variation du couple W due à l'augmentation de poids; on sait que toutes choses égales d'ailleurs, les couples sont proportionnels aux masses; donc si l'on connaît le poids P du mobile et le poids P_1 de la masse additionnelle, on a :

$$\frac{W}{W_1} = \frac{P}{P_1},$$

et

$$K + K_1 = \frac{T_1^2}{\pi^2 + \lambda_1^2} W \frac{P_1}{P},$$

par conséquent, en tenant compte ou en négligeant λ :

$$K = K_1 \frac{1}{\frac{T_1^2 (\pi^2 + \lambda^2) P_1}{T^2 (\pi^2 + \lambda_1^2) P} - 1} = K_1 \frac{T^2 P}{T_1^2 P_1 - T^2 P}.$$

La mesure de *k* et φ, se réduit à la mesure d'un couple; lorsqu'on possède un échantillon du fil à essayer, il suffit d'y suspendre une masse M_1 de forme et de dimensions connues. Il faut que cette masse n'offre pas de résistance appréciable à l'air pour pouvoir négliger λ; il faut en outre que sa forme se prête facilement au calcul du moment d'inertie, que son poids soit assez faible pour ne pas produire sur le fil essayé un allongement sensible; enfin son moment d'inertie doit être approprié au diamètre, à la longueur et à la rigidité du fil pour donner une valeur de T facile à mesurer, c. à. d. comprise entre 1 et 20 secondes; on voit qu'il y a de la marge de ce côté.

La meilleure forme à donner à la masse M_1 est celle d'un disque, un repère tracé sur une face facilite l'observation des oscillations.

La fixation du fil dans cette mesure est un point capital qui ne manque pas d'embarrasser les personnes ayant à faire ces mesures pour la première fois. Le moyen suivant est très facile à employer et permet la mesure exacte de la longueur du fil essayé; il consiste à faire passer au centre du disque et perpendiculairement à son plan (fig. 10), une tige mince, 2 mm environ pour les fils fins; cette tige de longueur appropriée à la hauteur du disque, est fendue sur 1 à 2 cm, les deux parties légèrement cintrées servant à pincer le fil, il suffit pour cela de faire entrer la partie convexe dans le trou du disque, en forçant légèrement, pour obtenir une fixation très suffisante; il faut que les bords de la pince soient émoussés pour ne pas couper le fil. Il va sans dire que le moment d'inertie de cette partie peut être calculé à part, mais en général on peut le négliger devant celui de la masse.

Le crochet supérieur doit être fait de la même manière, c'est le meilleur moyen d'obtenir la longueur exacte; il faut bien pincer le fil pour éviter la torsion dans la pince elle-même.

H. ARMAGNAT.

LA VISCOSITÉ APPARENTE
DES DIÉLECTRIQUES

Puisque la récente publication d'un travail de M. R. Arno [1] remet cette question à l'ordre du jour, je me permettrai d'y revenir, d'autant que le travail précité marque une évolution inavouée mais réelle de son auteur vers l'opinion que je n'ai cessé de soutenir.

Je ne retracerai pas l'historique de la question de l'hystérésis diélectrique : on en trouvera les donnés principales dans un article publié l'année dernière par cette revue [2]; mais il ne paraît nullement inutile d'insister à nouveau sur la diversité de principe des explications admises pour rendre compte d'un phénomène d'observation presque banale.

Ce phénomène est celui de l'échauffement des diélectriques sous l'action de charges variables. Placé dans un champ électrostatique alternatif, un diélectrique transforme une partie de l'énergie électrique en chaleur. Ce fait est connu de longue date; mais on a voulu, depuis quelques années, le rendre intéressant en lui donnant, sans autre motif qu'une vague analogie, le nom d'*hystérésis*

(1) L'*Éclairage Électrique* du 30 mai, p. 407.
(2) L'*Éclairage Électrique*, t. IV, p. 205; 3 août 1895.

diélectrique. Mais on dût bientôt procéder à un nouveau baptême, lorsqu'il fut reconnu qu'à l'encontre de l'hystérésis magnétique ce phénomène est fortement affecté par la fréquence des alternances : on le mit à l'actif d'une *viscosité* hypothétique. Or, au lieu de procéder ainsi par pure intuition, il eut été indiqué de chercher une première explication dans les notions admises et vérifiées. C'est le seul chemin que jusqu'à présent on n'ait pas suivi dans cette question.

Il est curieux, par exemple, de suivre dans ses conceptions l'un des auteurs qui étudie la la question depuis quatre ans. Je rappellerai (1) que M. R. Arno avait admis, en 1892, qu'un cylindre diélectrique était entraîné dans un champ électrique tournant par l'effet d'une hystérésis en tous points analogue à l'hystérésis magnétique. En réponse à ma critique, cet auteur avait même entrepris une étude pour démontrer que la perte dans le diélectrique suivait la loi trouvée par M. Steinmetz pour le magnétisme (proportionnalité à la puissance 1,6 de l'induction). Cette dernière loi ayant elle même fait l'objet d'une critique de la part de M. Ewing, qui avait trouvé un exposant non constant, mais variant entre 1,475 et 1,9, M. Arno prétendit que pour les diélectriques l'exposant variait également entre 1,65 et 1,9, et en prit texte pour maintenir l'idée d'une hystérésis électrostatique.

Depuis lors, divers expérimentateurs ont vérifié l'influence indéniable de la fréquence sur la perte d'énergie par cycle, et comme on l'a vu par son récent article, M. Arno s'en est facilement lui-même rendu compte. Aussi abandonne-t-il sans regret l'hystérésis tout court pour adopter avec une égale facilité l'hystérésis *visqueuse*.

J'espère qu'un examen ultérieur fera faire à cet auteur un pas de plus et le conduira vers la théorie qu'il est surprenant de voir admettre si difficilement, alors qu'elle n'introduit aucune conception nouvelle, puisqu'elle repose intégralement sur la théorie enseignée par Maxwell.

(1) On trouvera toutes les références dans l'article précédent.

Le point de départ est le suivant. Les diélectriques dont on dispose dans la pratique sont, en général, imparfaits ; c'est à dire composés de plusieurs substances de pouvoirs inducteurs et de résistivités différents. Cette hétérogénéité n'est pas inventée pour les besoins de la cause ; il est, au contraire, extrêmement difficile d'obtenir un diélectrique de constitution bien homogène. C'est le cas du cylindre employé par M. Arno ; car on admettra, je pense, sans difficulté, que du carton imprégné de paraffine, ne représente pas précisément le diélectrique homogène qu'il serait indispensable de posséder pour étudier un phénomène moléculaire comme celui de la viscosité.

Etant donné que les substances expérimentées sont toujours des mélanges de diélectriques, examinons, par l'application de la théorie universellement admise, quels effets devront se manifester (1) quand on les soumettra à l'action d'un champ électrique alternatif. Si nous prenons le cas simple d'un mélange de deux substances, nous savons qu'au point de vue des courants de déplacement nous pouvons réunir les particules de chaque substance en une couche et superposer les deux couches. Ceci n'est pas indispensable, mais facilite l'exposé de la théorie.

Voici donc deux couches diélectriques, de capacités respectives C et C′ et de résistances ρ et ρ'. Les valeurs de ρ et ρ' peuvent d'ailleurs être quelconques, les conclusions de la théorie étant absolument générales.

Si l'une des couches est le siège d'une chute de potentiel ε, l'autre d'une chute de potentiel ε', la chute de potentiel totale est :

$$e = \varepsilon + \varepsilon' ;$$

l'intensité du courant de déplacement et de conduction est donnée par

$$i = C\frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{\varepsilon}{\rho} = C'\frac{d\varepsilon'}{dt} + \frac{\varepsilon'}{\rho'}.$$

(1) Le phénomène du résidu que j'ai plus spécialement étudié dans la *Lumière Électrique* de nov. et déc. 1892, n'est qu'une autre modalité de ces effets.

Ces équations fondamentales suffisent pour conduire à une explication rationnelle des principaux phénomènes qu'offrent à l'observateur les diélectriques hétérogènes.

Il est un cas particulièrement intéressant, c'est celui dans lequel la résistivité de l'une des substances est très grande ou même infinie. Aucun courant continu ne peut alors s'établir à travers le diélectrique, qui, malgré cette circonstance, donne lieu à une perte d'énergie sous un potentiel variable.

En faisant la conductance $\frac{1}{\rho'} = 0$, on trouve pour un potentiel sinusoïdal ($e = e_0 \sin 2\pi n t$) que la puissance moyenne dissipée dans le diélectrique composé est exprimée par :

$$P = \frac{\pi^2}{\rho} \frac{C'^2 n^2}{(C + C')^2 4\pi^2 n^2 + \frac{1}{\rho^2}}.$$

Contrairement à ce qui aurait lieu pour un corps homogène, la puissance dissipée varie avec la fréquence n du potentiel de charge. Le taux de variation avec la fréquence est d'autant plus considérable que la conductibilité de l'une des substances composantes est plus grande.

La perte d'énergie par cycle, considérée par la plupart des auteurs, est :

$$W = \frac{\pi^2}{\rho} \frac{C'^2 n}{(C + C')^2 4\pi^2 n^2 + \frac{1}{\rho^2}}.$$

Sa variabilité avec la fréquence présente toutes les particularités observées expérimentalement, et notamment un maximum reconnu par M. Eisler.

Dans le cas spécial, où $C\rho = C'\rho'$ le corps se trouve être homogène, électriquement parlant ; la puissance dissipée n'y varie plus alors avec la fréquence, et une charge électrique continue n'y laisse plus de résidu à la décharge.

L'expérience n'a pas encore étudié ce cas ; mais dans tous ceux qu'elle a examinés, la théorie précédente est en concordance avec l'observation, et je ne vois pas les raisons qui obligent les physiciens à s'engager dans une voie difficultueuse, alors que nos aînés, et au premier chef Maxwell, nous ont clairement indiqué la direction à suivre.

Je me permets donc de conclure que s'il *peut* intervenir dans la transformation d'énergie dont les diélectriques sont le siège un effet de viscosité moléculaire, il est *certain* que dans un diélectrique composé dont un des constituants présente de la conductibilité, une pareille transformation d'énergie se produit toujours. Et j'ajoute que cette dernière cause de perte paraît être celle dont les effets ont tant occupé dans ces derniers temps un certain nombre de savants.

A. HESS.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Le développement de la traction électrique et son état actuel en Amérique.

Peu d'industries se sont développées avec autant de rapidité que celle des tramways électriques en Amérique ; en moins de 8 ans, plus de 800 lignes ont été munies de moteurs électriques ; leur longueur totale est de 17 500 km de voie simple ; elles emploient plus de 30 000 voitures motrices et, comme chaque voiture comprend une moyenne 2 moteurs, et que chacun de ceux-ci représente environ 20 chevaux de force, c'est une puissance totale de plus de 1 200 000 de chevaux vapeur dont la nouvelle industrie a nécessité l'emploi. Jusqu'en 1888, les essais étaient assez timides. A la fin de cette année, il n'y avait que peu de lignes installées, ne comprenant que des moteurs de faible puissance, représentant à peine quelques centaines de chevaux vapeur. C'est donc en réalité, pendant la durée très faible des sept dernières années que ce travail énorme a été accompli. Tous ceux qui ont suivi ce mouvement d'un peu près savent combien les difficultés premières ont été grandes et l'état de perfection relative atteint aujourd'hui. Eux seuls peuvent se rendre

compte de la somme énorme d'intelligence et d'énergie qu'il a fallu dépenser pour obtenir un pareil résultat. Deux compagnies surtout se partageaient la besogne : la General Electric Company et la Westinghouse Electric and Manufacturing Company ; aussi, dans les moments d'activité maxima, chacune d'elles construisit-elle jusqu'à 500 moteurs par semaine ! Ajoutez à cela la construction des générateurs, des appareils accessoires, l'installation des stations centrales, des lignes et des voies ! Nous n'avons aucune idée, en Europe d'une activité, ou pour mieux dire d'une fièvre pareille !

On conçoit aisément que les ingénieurs chargés de diriger ce mouvement n'aient pas eu le temps de s'arrêter pour jeter un regard arrière et envisager les progrès réalisés. Il fallait sans cesse marcher en avant. Sitôt un défaut reconnu, il fallait y remédier ; chacun y travaillait de son côté et peu à peu les appareils prenaient leur forme actuelle, bien proche de la perfection.

Aujourd'hui une certaine accalmie s'est produite, et, de tous côtés, des études rétrospectives sont publiées. Dans le numéro de janvier dernier, le *Street Railway Journal* publiait une étude de ce genre et, plus récemment, M. H. F. Parshall faisait devant la Society of Arts, de Londres, une conférence sur « le développement des appareils de traction électrique aux Etats-Unis ». Nous résumerons ici ces deux études.

Station centrale. — En moins de cinq ans, l'équipement des stations centrales s'est complètement modifié ; à cette époque, l'usage était d'employer des dynamos dont la puissance ne dépassait pas 100 à 200 chevaux et qui étaient entraînées par courroies, avec renvois bien souvent. Ces machines étaient très mal en rapport avec le service qu'elles avaient à effectuer. La charge moyenne est beaucoup inférieure au maximum ; si les courroies sont tendues suffisamment pour éviter les glissements à pleine charge, la perte dans les coussinets sera excessive aux charges moyennes. Encore cette objection est-elle entièrement secondaire quand on envisage les incompatibilités mécaniques qui résultent de la liaison par courroies d'une machine à vapeur et d'une dynamo sujette à des fluctuations de charge très rapides.

Aujourd'hui, l'usage prévaut de plus en plus des groupes à accouplement direct d'une puissance variant de 150 à 2 000 kw. Ce n'est qu'exceptionnellement que des dynamos puissantes sont entraînées par courroies.

TABLEAU I

Puissance		Pression de la vapeur kg : cm²	Vitesse angulaire en tours par minute	Moteurs									Dynamos						
				Cylindres		Poids							Poids					
Dynamo kw	Moteur H. P.			Diamètre mm	Course mm	Total kg	Volant kg	Surface occupée m²	Poids par m²	Poids par cheval. kg	Puissance par m², H. P.	Nombre de poles	Total kg	Armature kg	Surface occupée m²	Poids par m² kg	Poids par cheval électriq. kg	Puissance par m², kw
225	255	8,8	120	356- 660	914	41 000	11 500	45	925	160	5,5	6	17 000	6 600	5,02	3 350	56	44,5
300	340	8,8	100	406- 762	1 097	55 000	13 500	49	1 150	160	6,1	6	27 500	9 500	7,25	3 800	68,5	41,5
400	455	8,8	100	457- 864	1 067	62 000	18 500	51	1 200	135	9.1	8	32 500	13 350	8,36	3 900	61	47,5
400	455	8,8	80	508- 965	1 067	68 000	23 000	56	1 225	150	8,1	8	34 000	14 300	9,00	3 800	63	44,5
500	567	8,8	75	508- 965	1 219	82 000	27 500	60	1 400	145	9 5	10	39 500	16 250	8,83	4 500	59	56,5
800	907	8,8	80	660-1 270	1 219	111 000	38 500	85	1 300	120	10,7	10	50 000	22 500	10,69	4 700	46,7	75,
1 500	1 800	8.8	75	813-1 575	1 524	205 000	68 000	129	1 600	114	13,8	12	74 000	33 200	13,38	5 550	37,2	112,

En bonne pratique, à partir de 150 kw, on doit adopter les groupes à accouplement direct. Les avantages qu'on en retire au point de vue du rendement, de l'emplacement oc-

cupé, et de l'entretien sont considérables.

Le tableau I qui donne les dimensions et poids des groupes de différentes puissances et la figure 1 qui représente la courbe du rendement mécanique total d'une génératrice de 1 500 kw tournant à la vitesse angulaire de 75 tours par minute, donnent une idée de la perfection atteinte aujourd'hui dans ces machines monstres.

Il est peu probable que des génératrices plus puissantes soient jamais construites pour l'industrie des tramways, mais si l'usage des locomotives électriques se répandait dans l'industrie des chemins de fer, il faudrait s'attendre à voir, au bout de peu de temps, les ingénieurs construire des unités de 3 000, 4 000, 5 000 et même 10 000 chevaux.

Moteurs. — Ce sont certainement les moteurs qui ont reçu le plus de perfectionnements et dont la construction a été le plus profondément modifiée. Au début, il fallait près de 6 mois pour construire 40 moteurs de tramways. A l'heure actuelle, la même usine construit régulièrement 150 moteurs par semaine et en a construit jusqu'à 500 dans la même durée !

Les moteurs de tramways qui furent d'abord construits aux Etats-Unis étaient peu applicables au travail qu'ils avaient à effectuer. On ne se rendait pas compte des efforts mécaniques et électriques auxquels la traction soumettrait les moteurs. En général, ceux-ci étaient établis à peu près comme les dynamos ou les moteurs fixes ; la vitesse angulaire et le couple moteur aux différentes vitesses ne concordaient pas, en général, avec la vitesse et l'effort de traction correspondant de la voiture ; on donnait une grande importance au rendement à pleine charge, mais comme le travail moyen était beaucoup plus faible que le maximum prévu, le rendement réel était très mauvais. Les nouveaux moteurs furent calculés pour donner à peu près leur rendement maximum lorsque la charge est à sa valeur moyenne.

Un autre point dont l'importance n'était pas nettement reconnue, c'était la valeur du couple moteur par ampère la plus convenable. Au démarrage, le couple par ampère doit être maximum ; lorsque la voiture a acquis sa vitesse, il doit être moindre et doit décroître suivant la vitesse maxima à atteindre. Dans les premiers moteurs le couple par ampère, par suite des proportions données aux différentes parties du moteur, était à peu près constant, en sorte que le courant était excessif au démarrage, ce qui causait un échauffement considérable et nuisait à la durée du moteur. A l'heure actuelle, dans un moteur de tramway bien construit, l'effort à la jante

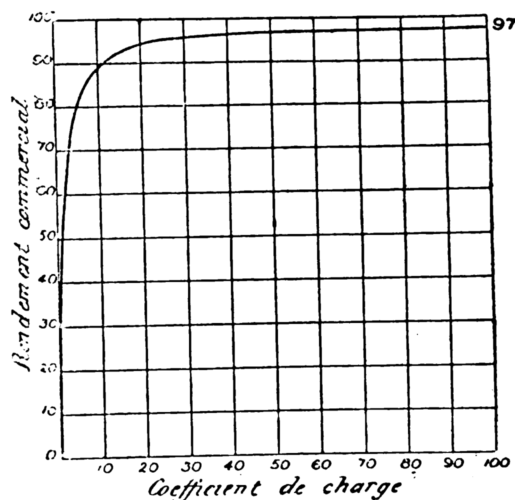


Fig. 1. — Courbe du rendement mécanique totale d'un dynamo de 1 500 kw, à 75 tours par minutes

de la roue motrice est d'environ 18 à 20 kg par ampère dans l'armature, et, en marche à pleine vitesse, de 9 à 11 kg.

En faisant ainsi varier le couple par ampère, on a augmenté le rendement du moteur et, en même temps, la durée des parties de l'appareil où ont lieu les pertes électriques.

Les perfectionnements au point de vue mécanique n'ont pas été moins nombreux ni moins importants. Le diamètre de l'arbre a été augmenté, en sorte que le coefficient de sécurité est six fois plus élevé que dans les moteurs et dynamos ordinaires ; les paliers ont été augmentés en largeur et en diamètre

Les conducteurs de l'armature furent maintenus plus solidement, afin d'éviter qu'ils ne glissassent les uns par rapport aux autres, ce qui avait pour effet de détruire l'isolement.

Afin de diminuer l'usure du contrôleur, on calcula les moteurs de façon que le couple par ampère, à une vitesse donnée, coïncidât avec la résistance à la traction de la voiture, étant données son accélération et sa vitesse. En augmentant le rendement du moteur, c'est à dire en diminuant l'intensité du courant pour laquelle un couple et une accélération

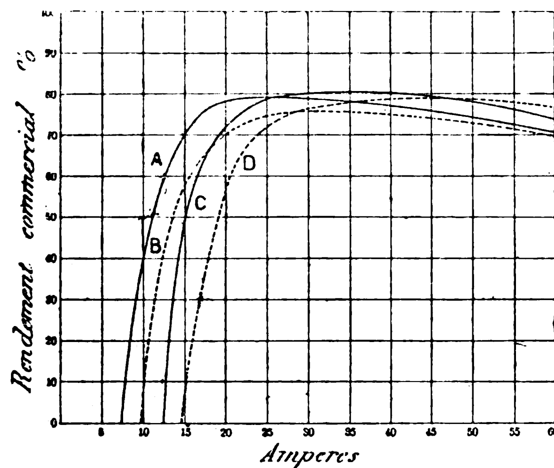


Fig. 2. — Courbes du rendement de moteurs électriques pour tramways, d'une puissance de 25 chevaux.
A — Petite vitesse — excitation maxima.
C » » réduite.
B — Grande vitesse — » maxima.
D » » réduite.

donnés sont produits, on diminua beaucoup la détérioration des appareils de contrôle, en sorte qu'un perfectionnement en amena un autre.

Le perfectionnement le plus important qui fut ensuite apporté fut l'emploi des moteurs multipolaires qui permit de supprimer un des harnais d'engrenages. Ce genre de moteurs, rendu pratique lorsque la fabrication de l'acier fut assez perfectionnée pour qu'on put obtenir des pièces de fonte de haute perméabilité et de la forme compliquée nécessaires pour ces moteurs. Ce changement fut accompagné de nombreux perfectionnements mécaniques. Les engrenages, les arbres et les paliers furent encore augmentés en dimensions ; le graissage fut amélioré en faisant plonger les engrenages dans l'huile ; la durée des harnais d'engrenage devint ainsi 3 ou 4 fois plus grande ; une roue en acier dure maintenant 3 ans environ et un pignon 9 mois, sur une voiture faisant de 150 à 160 km par jour. Les pignons ont d'ordinaire de 13 à 16 dents et la roue de 60 à 70. Le pas est généralement celui qui est connu aux Etats-Unis sous le n° 3 (le diamètre en pouces divisé par le nombre de dents = 3). Ces perfectionnements ont permis d'obtenir une transmission silencieuse.

La suspension des moteurs par une barre latérale de façon qu'il soit suspendu à cette barre verticalement en dessous de son centre de gravité a permis de doubler la durée des coussinets de l'essieu.

Le collecteur est encore le point faible des moteurs en dépit des perfectionnements qu'il a reçus ; un collecteur bien construit peu actuellement durer deux ans environ.

Au point de vue mécanique, on peut encore citer l'emploi des moteurs cuirassés qui empêchent toute introduction d'eau et de poussière dans l'intérieur du moteur. Les enroulements de l'armature sont fabriqués mécaniquement et sont interchangeables ; ils sont isolés d'abord avec de l'amiante, puis avec du mica et un ruban isolant, en sorte qu'ils supportent des très hautes températures. Les bobines de l'armature sont montées sur des surfaces coniques et sont maintenus par des écrous, en sorte que tout glissement est rendu impossible. Tous les enroulements sont rendus imperméables afin que même l'eau qui se condense à l'intérieur du moteur ne puisse compromettre l'isolement.

Le poids du moteur qui a une influence marquée sur l'usure des voies, des trucks et des paliers a été beaucoup diminué à la suite d'une étude approfondie de sa construction et du travail qu'il avait à fournir. Un moteur dit de 25 chevaux tout complet, y compris son harnais d'engrenages, pèse environ 700 k g ;

il ne peut pas fournir 25 chevaux continuellement mais pendant deux heures environ.

Tous ces perfectionnements ont été obtenus peu à peu et sont le fruit des études de tous les ingénieurs et constructeurs américains. On peut dire que les moteurs fabriqués par les principales maisons américaines sont de qualités équivalentes. Nous donnerons à titre d'exemple des propriétés des moteurs de tramways modernes les courbes du rendement (fig. 2) et de la vitesse, du courant et de l'effort horizontal (fig. 3) du moteur connu

Fig. 3. — Courbes représentatives de la vitesse, de l'intensité du courant et de l'effort de traction avec les moteurs ci-dessus.

A F — Petite vitesse — excitation réduite.
B H » » maxima.
C E — Grande vitesse — » réduite.
(Les inducteurs shuntés par une résistance de 1,2 ohms)
D G » » maxima.

sous le nom G. E. 800, qui est d'une puissance nominale de 25 chevaux. Elles se rapportent à deux types de moteurs calculés l'un pour le service urbain (petite vitesse) et l'autre pour le service interurbain (grande vitesse). Les courbes sont données pour l'excitation réduite d'un tiers par l'emploi d'un shunt de 1,2 ohm, dans un cas, et en mettant les enroulements inducteurs en multiple dans l'autre ; le moteur est construit, dans les deux cas, pour une tension de distribution de 500 volts (1).

(1) Dawson, *Engineering*, 26 avril 1895, p. 533.

On peut tirer quelques conséquences intéressantes de l'examen de ces courbes. On voit que le rendement moyen du moteur à faible vitesse est plus grand que celui du second ; Dans les deux cas, le rendement à pleine excitation est d'abord le plus grand ; au tiers de la puissance maxima, pour le moteur à petite vitesse et à environ mi-charge pour le second, l'excitation réduite donne le plus grand rendement.

On voit aussi que le moteur à petite vitesse atteint plus rapidement son rendement maximum. En service normal, le courant varie entre 20 et 40 ampères dans le moteur à faible vitesse, et entre 25 et 50 ampères dans le moteur à grande vitesse. Dans ces conditions, le rendement est de près de 80 pour 100, chiffre très élevé pour les moteurs de tramways. Les courbes qui donnent la vitesse et le couple moteur (fig. 3) indiquent des différences caractéristiques entre les deux moteurs. Dans le moteur urbain, le couple augmente beaucoup plus rapidement que dans le moteur interurbain ; en d'autres termes, ce dernier exige un plus grand courant de démarrage pour donner un même effort de traction. La différence est aussi très marquée dans les deux moteurs, entre l'excitation maxima et l'excitation réduite. On peut, d'après ces courbes, déterminer le moteur et l'excitation qui conviennent le mieux à un service donné, et calculer la puissance effective dépensée à différentes vitesses et avec différentes intensités de courant. Il suffit, en effet, de lire l'effort de traction pour une vitesse ou un courant donnés, soit avec l'excitation maxima ou l'excitation réduite et de multiplier par le chemin parcouru par la voiture en une seconde. Connaissant le rendement du moteur pour l'intensité en question, on trouve facilement la valeur de l'énergie électrique consommée aux bornes du moteur.

Cette revue est complétée par les perfectionnements apportés aux appareils accessoires, contrôleurs, tableaux de distribution, trôlets, joints des rails, ainsi que par le déve-

loppement des locomotives électriques et des tramways à canalisation souterraine. Ces questions ayant été traitées avec des détails suffisants dans nos colonnes, dans ces derniers temps, nous n'y insisterons pas aujourd'hui.

G. P.

La traction électrique au pont de Brooklyn

La traversée du pont colossal reliant New-York et Brooklyn demandant un temps considérable, on a établi depuis douze ans environ un tramway funiculaire à deux voies distinctes et séparées des allées réservées à la circulation. Les voitures s'accrochent au câble et sont rapidement transportées à l'autre extrémité. Là elles lâchent le câble et sont prises par une locomotive à vapeur qui les remet sur l'autre voie, la place ne permettant pas d'établir une boucle assez grande pour faire le virage.

Dans quelque temps l'énergie électrique remplacera la vapeur pour opérer le transbordement des voitures.

Chaque train comportera quatre voitures dont une automobile servant presque exclusivement à actionner le train au moment de l'aiguillage et à l'amener au dessus du câble. Toutefois cette voiture automobile pourra aider la traction par câble, en cas de glissement, pendant l'ascension de la rampe de 3,78 pour 100 qui existe sur le parcours. En outre, aux heures de faible trafic, elle pourra servir à la traction sur tout le parcours la traction électrique étant alors plus économique que la traction funiculaire.



Fig. 1. — Vue des voies sur le pont de Brooklyn.

A titre d'essai, une des voitures a été équipée électriquement par la General Electric Company. L'équipement est semblable à celui employé sur le métropolitain de Chicago [1] et sur le chemin de fer électrique de Nantasket Beach [2]. Les moteurs électriques, au nombre de quatre, sont du type G. F. 1 200, capables de développer chacun un effort de traction de 550 kg avec des roues de 0,85 m de diamètre.

Ces moteurs, représentés par la figure 3, sont du type cuirassé à enroulement polygonal, et commandent les roues motrices par

---

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 254; 10 août 1895.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 574; 21 septembre 1895.

un seul train d'engrenages réduisant les vitesses angulaires dans le rapport de 3,5 à 1. Ils peuvent imprimer à un train de quatre voitures une vitesse de 25 km à l'heure.

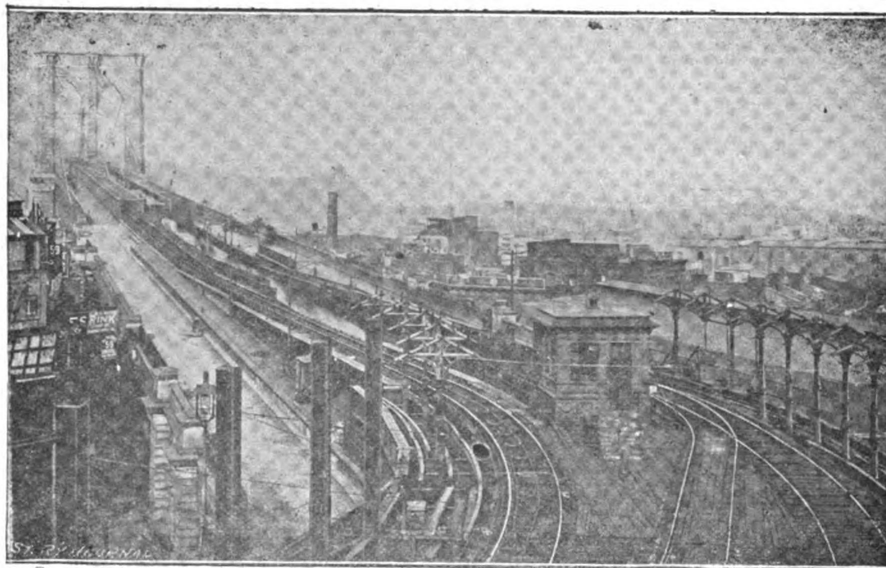


Fig. 2. — Autre vue des voies du pont de Brooklyn.

A la base de chaque moteur on a disposé un galet qui abaisse le câble de traction pour

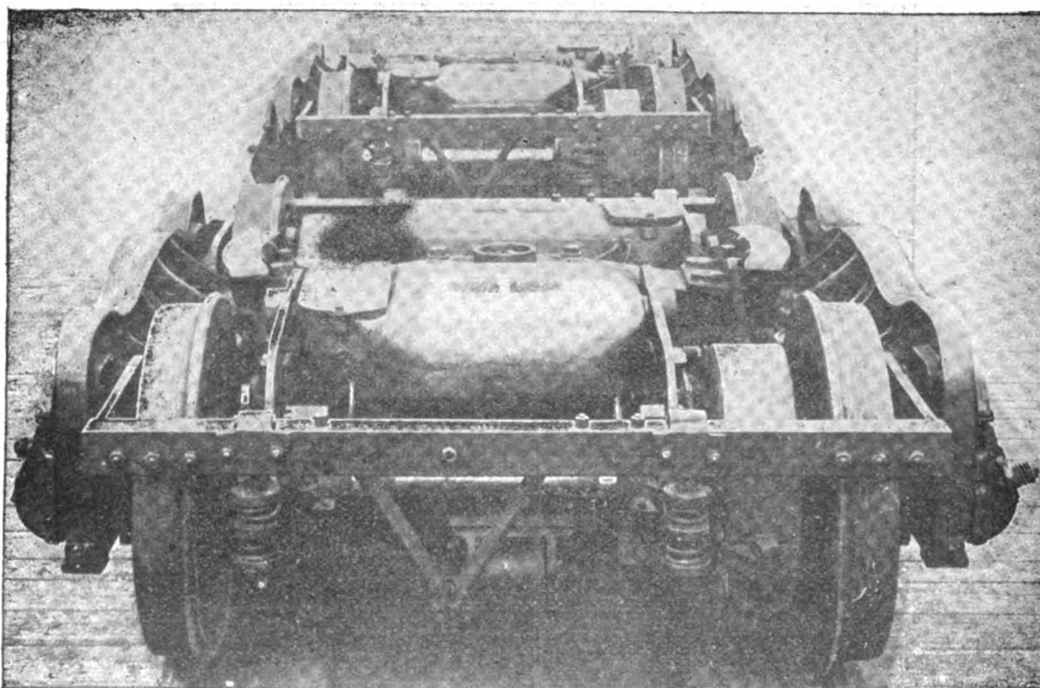


Fig 3. — Moteurs électriques montés sur les trucks.

qu'il ne vienne pas trotter sur les moteurs ; en outre, une barre de fer s'étendant tout le long de la voiture presse sur les galets de guidage du câble.

Le groupement des moteurs est effectué par le contrôleur type L 4 qui a donné pleine satisfaction à Chicago.

Les résistances et les coupe circuits magnétiques sont placés dans la voiture. Au dessous du toît de chaque voiture se trouve un interrupteur automatique dont le déclenchement est instantané chaque fois qu'un courant, susceptible de détériorer les moteurs, les traverse.

La voiture est munie de 12 chaufferettes électriques empruntant leur courant à la ligne aérienne.

Un collecteur de courant est fixé sur le toit de la voiture et à chaque extrémité. Il est constitué par un parallélogramme articulé, surmonté d'une pièce en forme de T, qui assure un contact permanent avec le fil aérien et permet la marche en avant ou en arrière indifféremment.

Les essais de ce nouveau système ont eu lieu en février dernier et depuis cette époque le service de la voiture électrique n'a jamais été interrompu. Vingt autres voitures fonctionneront sous peu.

Calcul des éléments d'un circuit pour une transmission par courants alternatifs, par P. M. Heldt [1].

Le but de cet article est de comparer les transmissions à courants continus avec celles où l'on emploie les courants alternatifs.

Pour établir ses formules, M. Heldt suppose connus : la quantité d'énergie que l'on doit transmettre ; le pourcentage des watts perdus ; le potentiel efficace et le décalage du moteur. Le problème consiste alors à chercher la résistance de la ligne, la chute de potentiel et le décalage du générateur.

Les symboles employés sont les suivants :

E_1 potentiel efficace du moteur + la chute dans les conducteurs correspondants au potentiel efficace ;

E_2 potentiel efficace du moteur ;

I courant efficace ;

θ_1 et θ_2 les angles de décalage entre E_1 et I, I et E_2 ;

L watts perdus par l'échauffement des conducteurs ;

W_2 watts transmis ;

p rapport $\frac{W_2}{L}$;

R résistance d'un des conducteurs fixés aux bornes du générateur.

Dans le cas des courants alternatifs monophasés, si l'on admet que les courbes des courants et des f. é. m. sont sinusoïdales, la puissance transmise est

$$W_2 = E_2 I \cos \theta_2 \tag{1}$$

et la perte d'énergie sur la ligne

$$L = 2 R I^2 \tag{2}$$

Si l'on avait employé des courants continus pour transmettre une même puissance sous un même voltage, et un pour cent égal de perte d'énergie, le courant nécessaire eut été I $\cos \theta_2$ et la résistance du circuit 2 R′ eut été

$$2 R'(I \cos \theta_2)^2 = 2 R I^2 \tag{3}$$

$$R' = \frac{R}{\cos^2 \theta_2}. \tag{4}$$

Avec ce système de courants alternatifs le poids des conducteurs est $\frac{1}{\cos^2 \theta_2}$ fois celui qu'utiliseraient des courants continus.

La figure 1 montre les conditions suivant lesquels se fait la transmission, on en déduit les équations suivantes ;

$$E_1 \cos \theta_1 = E_2 \cos \theta_2 + 2 R I \tag{5}$$

$$E_1 \sin \theta_1 = E_2 \sin \theta_2 \tag{6}$$

d'où :

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{E_2 \sin \theta_2}{E_2 \cos \theta_2 + 2 R I} \tag{7}$$

$$E_1 - E_2 = E_2 \left(\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} - 1\right) \tag{8}$$

la puissance fournie par le générateur est $E_1 I \cos \theta_1$ on a donc

$$p = \frac{W_1}{L} = \frac{E_1 I \cos \theta_1}{2 R I^2} = \frac{E_2 I \cos \theta_2 + 2 R I^2}{2 R I^2} \tag{9}$$

et

$$R = \frac{E_2 \cos \theta_2}{2 I (p-1)} \tag{11}$$

[1] *Electrical World*, t. XXVII, p. 152 ; 8 février 1896.

Dans certains cas on doit tenir compte de la chute de potentiel due à l'induction et modifier ces équations.

Si L est le coefficient d'induction, n la fréquence et $\omega = 2 n \pi$, la force électromagnétique induite sera L ω I. Elle est en retard sur I de 90°. D'après le diagramme de la figure 2 on a

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{E_2 \sin \theta_2 + L \omega I}{E \cos \theta_2 + 2 R I} \qquad (14)$$

l'énergie perdu sur la ligne est

$$I (E_1 \cos \theta_1 - E_2 \cos \theta_2) = 2 R I^2 \qquad (15)$$

et la chute de potentiel est

$$E_1 - E_2 = E_2 \left(\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} - 1\right) + \frac{L \omega I}{\sin \theta_1} \qquad (16)$$

En comparant les équations (2) et (15), (7) et (14), (8) et (16), on voit que l'induction

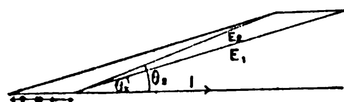


Fig. 1.

n'augmente pas la perte d'énergie sur la ligne mais accroît le décalage de la génératrice et la chute de potentiel dans les conducteurs.

Dans le cas où le courant est transmis par plus de deux fils, le courant résultant serait donné, d'après le diagramme figure 3 par l'équation

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + 2 I_1 I_2 \cos (\theta_2 - \theta_1)}$$

et la puissance fournie par l'alternateur générateur serait

$$E I \cos \theta = E I_1 \cos \theta_1 + E I_2 \cos \theta_2$$

Lorsque l'on emploie une distribution à trois fils avec deux génératrices telle que celle usitée avec les courants continus, la différence de potentiel entre les deux fils extérieurs est deux fois plus grand que le potentiel efficace de chacune des génératrices. Le courant correspondant à la même puissance que précédemment est $\frac{I}{2}$ si les phases coïncident. Pour une même perte d'énergie la résistance R_1 d'un des conducteurs extérieurs est

$$2 R_1 \times \frac{I^2}{4} = 2 R I^2 \qquad R_1 = 4 R$$

la section du fils neutre est généralement égale à la moitié de celle des fils extérieurs, le poids des conducteurs est donc dans ce cas les 31,25 p. 100 de celui employé dans le premier.

Dans ce qui suit M. Heldt compare les différents systèmes de transmission par courants alternatifs en supposant que toutes les courbes sont sinusoïdales et que les phases sont également chargées.

Les courants biphasés avec transmission à quatre fils rentrent dans le cas précédent et les mêmes formules sont applicables à chaque groupe de deux fils.

On réalise une économie en n'employant qu'un conducteur de retour qui sera traversé par un courant dont l'intensité sera $I \sqrt{2}$. Pour une même perte d'énergie le conducteur

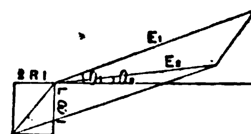


Fig. 2.

commun aux deux circuits doit avoir une résistance (R_1) telle que $R_1 (I \sqrt{2})^2 = 2 R I^2$; le conducteur aura donc la même section que les deux autres et l'économie sera de 25 p. 100 du prix d'une transmission à quatre fils.

Pourtant la densité du courant ne sera pas la même dans les trois conducteurs et le matériel n'est pas utilisé dans les conditions les plus avantageuses. Ces conditions sont obtenues, en effet, lorsque la puissance perdue et le poids des conducteurs sont minimum. Or le poids est minimum lorsque la résistance est maxima et la meilleur distribution de la matière est celle qui rend maximum le rapport de la résistance des trois conducteurs au nombre de watts perdus. Soient R_c la résistance du fil commum et R_p la résistance des trois fils :

$$R_p = \frac{R R_c}{R_c + R},$$

$$L = 2 I^2 (R_c + R),$$

$$\frac{P_p}{L} = \frac{R R_c}{2 I^2 (2 R_c^2 + R^2 + 3 R R_c)},$$

$$\frac{d \left(\frac{R_k}{L}\right)}{d \, (R_p)} = \frac{R^2 - 2 R_c^2}{2 I^2 (R^2 + 2 R_c^2 + 3 R R_c)^2} = 0$$

$$R_c = \frac{R}{\sqrt{2}}.$$

M. Heldt fait remarquer que c'est un cas particulier de cette vérité générale que la distribution de la matière la plus avantageuse est celle qui rend égale dans tous les conducteurs la densité du courant.

Soient R' la résistance d'un conducteur extérieur dans une transmission à trois fils et R la résistance d'un conducteur dans une transmission à quatre fils, on a

$$(2+\sqrt{2})\,R'\,I^2 = 4\,R\,I^2,$$

$$R' = \frac{4}{2+\sqrt{2}}\,R;$$

or le rapport de la section d'un des conducteurs extérieurs de la transmission à trois fils à celle d'un conducteur dans l'autre système est $(2+\sqrt{2}):4$, et le poids total de matière

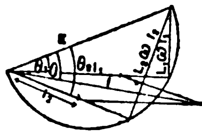


Fig. 3.

dans un système à 3 fils est $(2+\sqrt{2})$ fois plus grand que le poids d'un conducteur extérieur. Le rapport du poids de matière dans les deux modes est donc

$$\frac{(2+\sqrt{2})^2}{4^2} = 0{,}728.$$

Avec la transmission à trois fils les valeurs de p et de R sont données par les équations,

$$R\,p - 1 = \frac{2\,E_2\,I\cos\theta_2}{(2+\sqrt{2})\,R\,I^2}$$

$$R = \frac{2\,E_2\cos\theta_2}{(2+\sqrt{2})(p-1)I}$$

et la puissance fournie à la ligne est

$$2\,E_1\,I\cos\theta_1 = 2\,E_2\,I\cos\theta_2 + (2+\sqrt{2})\,R\,I^2.$$

Si le coefficient d'induction de la ligne est nul, on a

$$E_1\sin\theta_1 = E_2\sin\theta_2$$

et l'on tire les valeurs de $\operatorname{tg}\theta_1$ et de $E_1 - E_2$ des deux dernières équations

$$\operatorname{tg}\theta_1 = \frac{E_2\sin\theta_2}{E_2\cos\theta_2 + \left(\frac{2+\sqrt{}}{2}\right) R\,L^2}$$

$$E_1 - E_2 = E_2\left(\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} - 1\right).$$

Dans ce cas θ_1 est un décalage en retard pour une des phases et en avance pour l'autre.

Parmi les transmissions à courants biphasés on peut citer un double système à trois fils qui demanderait 31,25 pour 100 du poids de matière nécessaire dans la transmission ordinaire et un système de double transmission à trois fils où deux fils extérieurs seraient remplacés par un fil commun. Le poids des fils serait $\left(\frac{2+\sqrt{2}}{4}\right)\left(\frac{4+\sqrt{2}}{16}\right) = 0{,}236$ de celui utilisé dans le mode ordinaire.

Ici les deux fils neutres sont les mêmes que les fils extérieurs.

Dans les distributions de courants à basse tension la f. é. m. employée est déterminée par les appareils à alimenter, tandis que dans les transmissions à haut voltage elle est limitée par l'épaisseur de l'isolant qui est proportionnelle au maximum de la différence de potentiel entre deux conducteurs. Dans toutes les transmissions à haut voltage le fil neutre sera supprimé, puisqu'il est un simple extra.

Dans les distributions à trois fils de courants biphasés, la tension entre les deux conducteurs extérieurs est $E\sqrt{2}$; pour réduire l'épaisseur de l'isolant on doit donner au potentiel efficace une valeur égale à $\frac{E}{\sqrt{2}}$ et le courant devra être $I\sqrt{2}$ pour produire la même puissance. Si les pertes doivent être les mêmes, on aura

$$R'\,(I\sqrt{2})^2 = R\,I^2.$$

On voit donc que si la différence de potentiel doit rester la même dans des systèmes à 3 et à 4 fils le poids des conducteurs du premier système devra être double de celui des fils du second ; et l'on trouve comme valeur du rapport des poids totaux de matière employée 1,456 au lieu de 0,728 trouvé lorsque le courant reste le même.

Dans un moteur triphasé à connexion en triangle l'intensité efficace dans chaque fil est $I\sqrt{3}$ et la perte totale sur la ligne est $3\,R\,(I\sqrt{3})^2 = 9\,R\,I^2$ tandis que la puissance trans-

mise est $3 E I \cos \theta_2$. Pour transmettre la même puissance à un moteur monophasé, dans les mêmes conditions, on devra utiliser des conducteurs de résistance R' telle que

$$2 R' (3 I)^2 = 9 R I^2.$$

Comme on emploie dans le premier cas trois conducteurs dont la résistance $R = 2 R'$ l'économie que l'on fait est de 25 pour 100 du poids de métal nécessaire aux moteurs monophasés.

La puissance nécessaire à l'alternateur générateur est

$$3 E_1 I \cos \theta_1 = 3 E_2 I \cos \theta_2 + 9 R I^2;$$

d'où l'on tire

$$(p - 1) = \frac{3 E_2 I \cos \theta_2}{9 R I_2}$$

et

$$R = \frac{E_2 \cos \theta_2}{3 I (p-1)}.$$

Lorsqu'il n'y a pas d'induction dans la ligne, on a

$$E_1 \sin \theta_1 = E_2 \sin \theta_2.$$

Si chaque conducteur a un coefficient d'induction L et que $\omega = 2 \pi n$, n étant la fréquence, on trouve

$$E_1 \sin \theta_1 = E_2 \sin \theta_2 + L \omega I$$

et dans le premier cas on a

$$E_1 - E_2 = E_2 \left(\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} - 1\right) \quad \text{et } \operatorname{tg} \theta_1 = \frac{E_2 \sin \theta_2}{E_2 \cos \theta_2 + 3 R I},$$

tandis que dans le second

$$E_1 - E_2 = E_2 \left(\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} - 1\right) + \frac{3 L \omega I}{\sin \theta_1}$$

$$\text{et } \operatorname{tg} \theta_1 = \frac{E_2 \sin \theta_2 + 3 L \omega I}{E_2 \cos \theta_2 + 3 R I}.$$

Lorsque l'on se sert d'une connexion en étoile, la puissance transmise est $3 E_2 I \cos \theta_2$ et la perte sur la ligne $3 R I^2$. Pour transmettre la même puissance à un moteur monophasé, on devrait employer des conducteurs dont la résistance R' répondrait à l'équation :

$$2 R' (3 I)^2 = 3 R I^2 \quad \text{ou} \quad R' = \frac{R}{6}.$$

Le rapport des poids de métal employés dans les deux systèmes est

$$\frac{\sqrt{3}}{2 \times 6} = 0{,}292.$$

Dans les transmissions de courants à hauts voltages l'économie n'est plus que de 25 pour 100. Dans ce cas l'intensité efficace et la résistance sont données par les équations suivantes, où W_2 représente la puissance transmise

$$I = \frac{W_2}{3 E_2 \cos \theta_2} \qquad R = \frac{E_2 \cos \theta_2}{I (p - 1)}.$$

La puissance que doit fournir la génératrice est

$$3 E_1 I \cos \theta = 3 E_2 I \cos \theta_2 + 3 R I^2;$$

si les conducteurs n'ont pas d'induction sensible

$$E_1 \sin \theta_1 = E_2 \sin \theta_2;$$

dans le cas contraire

$$E_1 \sin \theta' = E_2 \sin \theta_2 + L \omega I.$$

Dans le premier cas

$$E_1 - E_2 = E_2 \left(\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} - 1\right),$$

et dans le second

$$E_1 - E_2 = E_2 \left(\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} - 1\right) + \frac{L \omega I}{\sin \theta_1},$$

d'où l'on tire

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{E_2 \sin \theta_2}{E_2 \cos \theta_2 + R I}$$

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{E_2 \sin \theta_2 + L \omega I}{E_2 \cos \theta_2 + R I}.$$

Les deux systèmes de transmissions pour moteurs triphasés peuvent être combinés chacun avec une autre transmission semblable à trois fils, par le même procédé employé pour les moteurs monophasés. La valeur du rapport des poids de matière employée dans ces deux cas à celui que nécessiterait un seul moteur monophasé est de 0,28125 dans le premier et dans le second 0,0885 ou 0,1042 suivant que le courant est à bas ou haut voltage

G.

Comparaison entre les moteurs électriques et les moteurs à gaz de faible puissance, par A. Soubeyran.

Dans l'avant dernier numéro du *Génie Civil* (23 mai 1896) M. Soubeyran, ingénieur civil des mines et directeur technique du secteur

de la place Clichy, publie quelques données relatives aux dépenses d'un moteur à gaz et d'un moteur électrique installés successivement par MM. Parvillée dans leurs ateliers. Ces données, établies avec le plus grand soin, ont le mérite de résulter d'expériences faites sans idée préconçue, dans conditions normales d'une marche industrielle. Elles montrent que dans ces conditions les moteurs électriques de faible puissances sont comparables, au point de vue de la dépense, aux moteurs à gaz. Si l'on tient compte des avantages bien connus des premiers moteurs : absence de bruit, surveillance presque nulle, mise en marche très simple, encombrement très réduit, on peut en conclure qu'aux prix de vente actuels de l'électricité et du gaz à Paris, les moteurs électriques sont plus avantageux que les moteurs à gaz jusqu'aux puissances de 4 chevaux environ.

Le moteur à gaz sur lequel a porté les essais était un moteur Otto de six chevaux installé par MM. Parvillée dans leurs anciens ateliers de la rue Caulaincourt. Ce moteur tournant à vide consommait 2 500 litres de gaz par heure, d'où une dépense horaire de 0,75 fr, le gaz étant compté à 0,30 fr le mètre cube; à pleine charge sa consommation était de 5 000 litres, immédiatement après nettoyage complet et de 6500 litres après sept jours de marche sans nouveau nettoyage, et par suite la dépense horaire était de 1,50 fr ou 1,95 fr suivant l'état de propreté du moteur.

Le graissage de ce moteur exigeait 500 gr d'huile de pied de bœuf par jour, soit une dépense de 1,25 fr.

L'entretien ordinaire du moteur revenait à 22 fr par mois environ ; l'entretien accidentel pouvait être évaluée à 10 fr par mois.

En supposant 25 jours de travail par mois, et 10 heures par jour, on arrive aux chiffres suivants pour la dépense par heure :

	Marche à vide	Marche à pleine charge
Gaz consommé :		
2 500 lit. à 0,30 fr. le m³	0,75	»
6 000 lit. à 0,30 fr. le m³	»	1,80
Huile à 2,50 fr. le kg....	0,125	0,125
Entretien.............	0,13	0,13
Totaux...	1,005	2,055

Dans leurs nouveaux ateliers de la rue Gauthey, MM. Parvillée ont installé un moteur électrique, système Rechniewski, de quatre chevaux et demi, à 450 volts et tournant à 680 tours par minute. Les essais faits sur ce moteur ont donné les résultats suivants pour la dépense par heure :

	Marche à vide	Marche à pleine charge
Energie consommée :		
350 watts à 0,06 fr....	0,210	»
3 900 watts à 0,06 fr....	»	2,340
Huile à 1,10 fr. le kg ..	0,001	0,001
Entretien..............	0,020	0,020
Amortissement et intérêts	0,009	0,099
Totaux.....	0,330	2,460

Pour pouvoir comparer à la dépense de ce moteur électrique celle d'un moteur à gaz de même puissance, M. Soubeyran déduit cette dernière des résultats obtenus avec le moteur de 6 chevaux ; il arrive ainsi aux chiffres suivants :

	Marche à vide	Marche à pleine charge
Gaz consommé :		
1 875 lit. à 0,30 fr. le m³	0,562	»
4 500 lit. à 0,30 fr. le m³	»	1,35
Huile.................	0,12	0,12
Entretien..............	0,13	0,13
Amortissement et intérêts	0,225	0,225
Totaux....	1,037	1,825

Si l'on rapproche ces résultats de ceux obtenus pour le moteur électrique de même puissance, on a pour la dépense par heure :

	Marche à vide	Marche à pleine charge
Moteur à gaz..... fr.	1,037	1,825
Moteur électrique. fr.	0,330	2,460

On voit par ces chiffres, que la dépense de la marche à vide du moteur à gaz représente les 56 pour 100 de celle à pleine charge, chiffre qui s'abaisse à 13 pour 100 pour le moteur électrique.

Il en résulte donc que si, ainsi qu'il arrive ordinairement, on ne fait que très rarement fonctionner le moteur à pleine charge le moteur électrique donne une économie importante sur le moteur à gaz.

En terminant, M. Soubeyran indique quel-

ques chiffres qui montrent l'importance du choix de la transmission et de la vitesse du moteur. Avant d'adopter le moteur électrique à 680 tours dont il vient d'être question, MM. Parvillée avaient installé un moteur tournant beaucoup plus rapidement et commandant l'arbre de la transmission générale par un petit renvoi intermédiaire. La transmission tournant à vide, on a trouvé, indépendamment de la consommation propre du moteur, une dépense de 368 à 920 watts suivant la vitesse ; la dépense s'est trouvée réduite à 184 watts avec le moteur actuel et suppression du renvoi. L'économie réalisée par cette substitution atteint donc jusqu'à 736 watts, ce qui, à raison de 0,06 l'hectowatt heure représente 4,50 fr par journée de 10 heures, soit 1350 fr par an.

Résultats d'essais sur une ligne de tramways électrique desservie par 10 voitures motrices, par John F. Vaughan.

La ligne sur laquelle ces épreuves ont été faites est à une seule voie d'une longueur totale de 30 kilomètres. Cette ligne comprend une section de 14 km nouvellement installée parcourant du nord au sud un terrain assez accidenté et une section de 16 km qui, faisant suite à la première, décrit une courbe et revient par une autre direction à l'extrêmité nord de celle-ci.

La station génératrice se trouve située à environ 1 km de l'extrêmité sud de la nouvelle section et l'on constate une perte de 25 volts avant que le courant soit distribué sur le réseau. Les résultats des observations faites sur le réseau sont résumés dans le tableau suivant :

Kilomètres de voie	30	
Nombre de voitures en service	10	
Kilomètres parcourus par voiture et par jour	2815,75	
Vitesse moyenne en km (arrêts compris)	15,28	
Intensité moyenne en ampères par voiture	20	
Watt-heures par voiture-kilomètre (à la station)	940	
Watt-heures par voiture-kilomètre (au wattmètre des voitures)	677	
Tension en volts à la station	560	
Tension moyenne en ligne	448	
Perte maxima de tension en ligne	49	pour 100
Perte moyenne dans les feeders (calculée)	14	—
Perte moyenne à la terre (mesurée)	15	—
Rendement actuel de la ligne	71	—
Rendement mesuré d'une ligne entièrement neuve (avec de bonnes connexions)	21	—
Maxima de charge en ampères de la station (observée par un temps froid et clair)	450	

Les attaches et connexions de l'ancienne ligne sont en mauvais état et environ 50 pour 100 de la résistance totale de la ligne peut être attribuée à ces jonctions défectueuses. Les pertes d'intensité en ligne varient de 2 à 8 ampères selon les conditions météorologiques. Les radiateurs servant au chauffage des tramways consomment une moyenne de 8 ampères par voiture.

Les chiffres énumérés précédemment représentent les données observées avec un seul point d'alimentation ; l'auteur établit par les chiffres suivants qu'il serait avantageux d'avoir une seconde station alimentant la partie nord du réseau, avec ces deux stations distribuant le courant avec le même système de feeders.

La perte maxima en ligne serait	22 volts = 3 p. 100 ;
La tension moyenne en ligne.	546 volts ;
La perte moyenne dans les feeders	3, 1 p. 100 ;
Le rendement probable de la ligne	96,00 p. 100.

L. D.

L'électro métallurgie de l'aluminium, par J. W. Richards (¹).

Dans ce Mémoire, reproduction d'une conférence faite au Franklin Institute, le 24 janvier dernier, M. Richards, qui s'est acquis une grande notoriété aux États-Unis par ses nombreux travaux sur l'aluminium, donne quel-

(¹) *The Journal of the Franklin Institute*, t. CXLI, p. 357-381 ; mai 1896.

ques détails intéressants sur l'industrie de ce métal, industrie que nos lecteurs connaissent bien par les nombreux articles que M. Minet y a consacrés dans les colonnes de la *Lumière Électrique*.

L'auteur commence par indiquer les minerais naturels qui peuvent être employés pour l'obtention de l'aluminium à l'aide du courant électrique ; ce sont :

La bauxite, oxyde d'aluminium impur, contenant ordinairement de l'oxyde de fer, de titane et de la silice. Cet oxyde est insoluble dans l'eau, mais facilement soluble dans les acides forts après calcination. Il est infusible, sauf dans le four électrique, et, par suite, n'est pas pratiquement bon conducteur de l'électricité. Il est soluble dans certains fluorures, particulièrement les fluorures doubles d'aluminium et des métaux alcalins, et cette dissolution constitue un bon électrolyte.

La cryolite, fluorure double d'aluminium et de sodium ordinairement imprégné de silice ; elle est insoluble dans l'eau, facilement fusible au rouge blanc et bonne conductrice de l'électricité à l'état fondu.

Le sulfate d'aluminium et les sulfates doubles d'aluminium et des métaux acalins que l'on trouve à l'état naturel. Ces sulfates sont solubles dans l'eau, décomposables à une température peu élevée en donnant de l'alumine ou un mélange d'alumine et d'alcalis dont on peut séparer les alcalis par un lessivage.

Le kaolin qui est un silicate hydrate d'aluminium très pur que l'on trouve en très grande quantité. Il est insoluble dans l'eau ; infusible sauf dans le four électrique ; inattaquable par les acides sauf l'acide sulfurique concentré qui dissout l'alumine et laisse un résidu de silice et par l'acide fluorhydrique qui dissout la silice et donne du fluorure d'aluminium.

Mais outre ces minerais naturels on peut employer de nombreux sels d'aluminium :

Le chlorure d'aluminium obtenu par l'action du chlore sur un mélange d'alumine et de charbon porté à haute température. C'est un sel déliquescent, très soluble dans l'eau, facilement fusible et se volatilisant à une température peu supérieure à celle de son point de fusion. A l'état fondu, c'est un médiocre conducteur de l'électricité.

Les chlorures doubles d'aluminium et des métaux alcalins qui se préparent de la même façon que le chlorure d'aluminium à cela près que le mélange d'alumine et de charbon est additionné de chlorure alcalin. Ils sont très solubles dans l'eau, légèrement déliquescents, facilement fusibles et bons conducteurs de l'électricité lorsqu'ils sont fondus ; ils sont beaucoup plus faciles à manipuler que le chlorure simple.

Le fluorure d'aluminium, presque insoluble dans l'eau, infusible, volatil à très haute température, soluble dans beaucoup de sels fondus et donnant ainsi un bon électrolyte.

Les fluorures doubles d'aluminium et des métaux alcalins qui sont insolubles dans l'eau, facilement fusibles, bons conducteurs de l'électricité, dissolvent l'alumine libre et permettent l'électrolyse de celle-ci sans être eux-mêmes décomposés.

Les aluminates de potassium ou de sodium que l'on obtient solides en chauffant ensemble de l'alumine et de la potasse ou de la soude et que l'on prépare en dissolution en dissolvant l'alumine dans une solution alcaline concentrée. Ils sont difficilement fusibles; le courant les décompose en métal alcalin, aluminium et oxygène, mais cette électrolyse présente des difficultés.

Les aluminates métalliques, très peu fusibles, difficiles à préparer et ne pouvant être traités par voie électrique sauf dans le four électrique.

Le phosphate d'aluminium, insoluble dans l'eau, très peu fusible et très difficilement décomposable.

Le borate d'aluminium que l'on obtient en dissolvant l'alumine dans l'acide borique ou le borax ; difficilement soluble dans l'eau facilement fusible et bon électrolyte lorsqu'il est fondu ; le bore est aussi mis en liberté.

L'azotate et l'acétate d'aluminium, sels so-

lubles obtenus en dissolvant l'alumine dans l'acide correspondant ; ils sont décomposés à une température peu élevée et donnent un résidu d'alumine.

Le sulfure d'aluminium que l'on obtient en faisant passer un courant de vapeurs de sulfure de carbone sur de l'alumine chauffée au rouge ; composé difficilement fusible, déliquescent, réagissant sur l'eau en donnant de l'hydrogène sulfuré et de l'alumine ; intraitable par les procédés électriques.

Les sulfures doubles d'aluminium et des métaux alcalins que l'on obtient assez facilement par l'action de la chaleur sur un mélange d'alumine, de carbone, de soufre et d'un alcali ; sels stables à l'air, insolubles dans l'eau, facilement fusibles, bons conducteurs lorsqu'ils sont fondus et facilement décomposables par le courant en aluminium et soufre.

Pour ceux de ces composés dont on connaît la chaleur de formation on peut calculer la force électromotrice minimum nécessaire à leur décomposition ; on trouve ainsi :

Fluorure d'aluminium	....	4,0 volts
Oxyde »	....	2,8 »
Chlorure »	....	2,3 »
Bromure »	....	1,7 »
Iodure »	....	1,0 »
Sulfure »	....	0,9 »

L'auteur passe ensuite à la description des procédés électriques que l'on peut employer pour la préparation de l'aluminium, procédés qui se divisent en trois groupes : 1° par électrolyse des solutions aqueuses ; 2° par électrolyse des sels fondus ; 3° procédés électrothermiques.

1° L'électrolyse des solutions aqueuses n'a pas encore reçu d'applications ; mais dans certains cas un procédé fondé sur ce genre d'électrolyse pourrait devenir pratique.

On pourrait, par exemple, s'en servir pour le raffinage de l'aluminium impur dans des conditions analogues à celles du raffinage électrolytique du cuivre aujourd'hui pratiqué sur une vaste échelle. L'anode serait constituée par l'aluminium commercial et le bain par un sel soluble quelconque de ce métal. L'auteur a fait à ce ce propos diverses expériences qui lui ont donné de bons résultats. Il prenait une solution concentrée de chlorure d'aluminium additionné de 10 pour 100 d'acétate de sodium ayant une résistance spécifique de 20 ohms; la différence de potentiel entre les électrodes était de 0,9 volt ; la résistance de la batterie et des conducteurs était de 0,7 ohm, celle de la solution, 1,55 ohm ; l'intensité du courant était de 0,4 ampère correspondant à une densité de 290 ampères par mètre carré ; en quinze minutes on avait un dépôt brillant d'aluminium sur la cathode.

Il est évident qu'un tel procédé pourrait servir non seulement au raffinage de l'aluminium mais encore à l'obtention d'un dépôt de ce métal à la surface d'objet.

D'un autre côté ce même procédé pourrait, du moins théoriquement, servir à l'extraction de l'aluminium de ses minerais ; il suffirait de constituer l'anode avec ce minerai et de prendre pour bain une solution dont l'action réagisse sur le minerai. Malheureusement les minerais naturels sont mauvais conducteurs de l'électricité.

Toutefois l'auteur ne doute pas que l'on puisse arriver à surmonter cette difficulté et il indique trois moyens d'y parvenir.

Le premier consisterait à incorporer au minerai un corps bon conducteur tel que le charbon de cornue; mais il présente un inconvénient car si l'on emploie comme minerai l'alumine il faut une différence de potentiel d'au moins 2,8 volts et l'eau de la solution, qui n'exige que 1,49 volt pour sa décomposition, se trouve décomposée, d'où perte d'énergie.

Le second moyen serait d'employer comme anode un sel d'aluminium conducteur, exigeant pour sa décomposition une différence de potentiel moindre que 1,49 volt ; les sulfures doubles d'aluminium et des métaux alcalins conviendraient sans doute.

Un troisième moyen consisterait à décomposer un sel soluble se préparant facilement en partant des minerais naturels. Mais si l'on emploie dans cette décomposition des électro-

des insolubles il faudrait une différence de potentiel considérable qui entraînerait une perte d'énergie. Pour tourner cette nouvelle difficulté, M. Richards propose l'emploi d'une anode soluble, en métal bon marché, et entourée d'un diaphrame poreux pour éviter le mélange du sel provenant de son attaque avec le sel d'aluminium ; le voltage nécessaire à la décomposition serait alors diminué. En prenant une anode de zinc, il serait au minimum de 0,22 volt ; en prenant une anode de fer, il serait de 0,55 volt.

2° L'électrolyse des sels fondus est couramment employée pour l'obtention de l'aluminium brut, mais comme cet aluminium contient encore 10 pour 100 au moins d'impuretés, l'auteur pense que l'on pourrait dès à présent utiliser l'électrolyse des sels fondus pour le raffinage de l'aluminium. Il propose dans ce but l'emploi de bains de chlorures ou de fluorures doubles d'aluminium et de métaux alcalins qui fondent au dessous du point de fusion de l'aluminium ; les anodes seraient constituées par l'aluminium impur.

Au contraire il ne croit pas que l'on puisse se servir de ce genre d'électrolyse pour l'obtention directe de l'aluminium de ses minerais naturels.

En effet le seul minerai se prêtant à ce mode de traitement est la cryolithe et il offre le grave inconvénient de donner un bain de plus en plus riche en fluorure de sodium à mesure que se produit le dépôt d'aluminium, de sorte qu'après quelque temps d'électrolyse l'aluminium est fortement mélangé de sodium. Le docteur Kleiner, de Zurich, a essayé d'éviter cet inconvénient en opérant la décomposition dans un récipient garni de bauxite, espérant que le fluor attaquerait celle-ci pour donner du fluorure d'aluminium maintenant constante la teneur du bain, mais les résultats n'ont pas répondu à son attente.

La décomposition directe des sels fondus n'a pu non plus passer en pratique bien que ce soit par la décomposition du chlorure double de sodium et d'aluminium que Bunsen et Deville aient, indépendamment l'un de l'autre, obtenu pour la première fois l'aluminium en quantité notable. Cependant tout récemment on a essayé d'employer industriellement l'électrolyse du sulfure double d'aluminium et de sodium, sel qui présente sur le chlorure double l'avantage de se manipuler plus commodément et d'être plus facilement préparé en partant des minerais naturels. On peut donc espérer trouver dans cette voie un procédé pratique.

L'électrolyse des minerais naturels préalablement dissous dans un sel fondu est au contraire entrée dans la pratique depuis une dizaine d'années. En 1886, M. Héroult imaginait un procédé basé sur l'électrolyse de l'alumine dissoute dans le fluorure double d'aluminium et de sodium, en même temps que M. Hall faisait breveter en Amérique un procédé tout semblable. Ces procédés étant bien connus de nos lecteurs, nous n'en dirons que quelques mots :

On prend généralement aujourd'hui comme dissolvant de la cryolite fondue à laquelle on ajoute un excès de fluorure d'aluminium et une petite quantité de fluorure de calcium (spath fluor); dans ce bain on dissout de l'alumine pure préparée chimiquement, dans la proportion de un cinquième en poids ; la cathode est constituée par le charbon qui garnit les parois du four où s'effectue la fusion et l'anode par des charbons de cornue plongeant dans le bain ; à mesure que l'alumine est décomposée la résistance électrique du bain augmente et quand cette résistance atteint une certaine valeur, on ajoute de l'alumine de manière à rendre la décomposition continue.

Le procédé Hall est employé par la Pittsburg Reduction Company, à New-Kensington, sur la rivière Alleghany près de Pittsburg. Les dynamos, construites par la Westinghouse Company sont actionnées par des moteurs à vapeur, le charbon employé ne coûtant que 3,60 fr la tonne. La puissance de

(1) Voir *L'utilisation des chutes du Niagara*, par G. Pellissier (*L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 145 ; 25 avril 1896.

cette usine est de 1 500 chevaux et sa production journalière de 900 kg environ d'aluminium qui sont laminés à l'usine même. L'alumine employée est en partie importée d'Allemagne ; une autre partie provient du traitement dans des usines annexes de la bauxite de Géorgie.

La même Compagnie possède à Niagara Falls une seconde usine en exploitation depuis juillet dernier ([1]). Le courant alternatif à 2 500 volts fourni par la Niagara Falls Power Company est amené à l'usine par une conduite souterraine ; au moyen de transformateurs statiques sa tension est ramenée à 115 volts, puis des transformateurs tournants transforment ce courant alternatif en un courant continu de 7 500 ampères à 160 volts. Les transformateurs rotatifs, actuellement de 500 chevaux, doivent être très prochainement remplacés par des transformateurs de 800 chevaux. Après cette modification la production journalière de l'usine sera d'environ 1 150 kg d'aluminium brut par jour.

Une troisième usine, appartenant à la même Compagnie, est actuellement en construction à Niagara sur les terrains de la Hydraulic Power Company. Cinq grandes dynamos de 750 chevaux chacune, construites par la Westinghouse Electric Company y seront installées ; elles seront mues directement par les turbines. La production journalière de cette nouvelle usine sera d'environ 2 300 kg d'aluminium.

La Pittsburg Reduction Company peut donc dès maintenant livrer à la consommation 2 tonnes d'aluminium par jour et pourra en livrer 4 tonnes et demie environ quand sa nouvelle usine fonctionnera.

Le procédé Héroult est appliqué depuis huit ans par la Aluminium Industrie Actien-Gesellschaft, à Neuhausen (Suisse). En 1888 la puissance motrice de cette usine n'était que de 300 chevaux fournis par une turbine Jonval; en 1891, cette puissance était portée à 1 500 chevaux par l'installation de 2 turbines de 600 chevaux; quatre autres turbines du même type ont été installées en 1893 et récemment une nouvelle turbine de 600 chevaux également a été ajoutée pour servir de réserve. La même Compagnie construit actuellement à Rheinfelden, près de Bâle, une nouvelle usine hydraulique de 10 000 chevaux; en outre elle a tout récemment acquis une chute d'eau en Autriche.

Le procédé Héroult est également appliqué en France par la Société Electrométallurgique. De 1889 à 1893 la fabrication de l'aluminium était faite à Froges (Isère); depuis elle s'effectue à La Praz, sur l'Arc, en Savoie, l'usine de Froges étant, comme nos lecteurs savent, utilisée en grande partie pour la fabrication du carbure de calcium.

La Société industrielle de l'aluminium exploite à Saint-Michel (Savoie) le procédé Hall. Elle dispose de 4 000 chevaux dont la moitié seulement est utilisée jusqu'ici ; l'autre moitié le sera très probablement dans le courant de cette année.

En Angleterre, la Britisch Aluminium Company qui possédait à Larne Harbor, près Belfast, une usine pour la préparation de l'alumine pure, vient d'installer à Foyers (Ecosse) une usine pour le traitement de cet alumine par le procédé Héroult ([1]).

Enfin des capitalistes allemands et américains viennent d'acquérir une chute d'eau à Sarps fos (Norwège) entre Christiana et Goteborg, pour actionner une fabrique d'aluminium qui sera en exploitation en 1898 ([2]).

Le tableau suivant donne la puissance motrice de la production journalière des diverses usines actuellement en exploitation :

	Horse Power	Tonnes anglaises de 907 kg
New Kensington (Etats-Unis)	1 600	1,0
Niagara Falls (Etats-Unis)...	1 600	1,2
Neuhausen (Suisse).........	4 000	2,5
La Praz (France)...........	2 500	1,5
Saint-Michel (France).......	2 000	1,25
	11 700	7,45

([1]) Voir *L'utilisation des chutes du Niagara*, par G. Pellissier (*L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 145 ; 25 avril 1896).

([1]) *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 411; 30 mai 1896.
([2]) *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 383; 23 nov. 1895.

Aux chiffres de la troisième colonne correspondent une production annuelle d'environ 2 500 tonnes (de 907 kg); la production de 1895 était approximativement de 1 500 tonnes.

Les agrandissements projetés et l'exploitation des usines en construction donneront pour la puissance motrice et la production journalière les chiffres suivants :

	Horse Power	Tonnes anglaises de 907 kg.
Niagara Falls (Etats-Unis)..	5 500	3,5
Rheinfelden (Suisse).......	6 000	4,0
Saint Michel (France)	2 000	1,25
Foyers (Grande Bretagne)..	3 000	2,00
Sarpsfos (Norwège)........	3 000	3,25
	21 500	14,00

En 1898 au plus tard la fabrication de l'aluminium absorbera donc une puissance de 33 200 horse power pour une production journalière de 21,45 tonnes (de 907 kg), soit une production annuelle de 7 650 tonnes.

3° Suivant la classification adoptée dans sa conférence, M. Richards examine les procédés électrothermiques de fabrication de l'aluminium ou plus exactement d'alliages de ce métal et de cuivre. Dans ces procédés l'alumine est réduite par le charbon sous l'influence de la haute température développée par l'arc électrique et l'aluminium produit est dissous dans le cuivre préalablement mis dans le circuit. Ces procédés ont été abandonnés pour ceux qui viennent d'être décrits et l'auteur ne cite que pour mémoire le procédé Cowles employé pendant plusieurs années à Lockport (Etats-Unis) et Milton (Angleterre), et le procédé Héroult utilisé pendant plusieurs années en Suisse et en France.

Suivant M. Richards les procédés électrothermiques ne pourraient, dans l'état actuel de l'industrie de l'aluminium, avoir quelques chances de réussite que pour la préparation au moyen de minerais naturels impurs d'aluminium impur qui serait ensuite raffiné soit par l'électrolyse en solution aqueuse soit par l'électrolyse dans des bains fondus.

J. B.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Société Internationale des Electriciens.

Séance du 20 mai 1896.

La réunion mensuelle qui devait avoir lieu le premier mercredi du mois, suivant l'usage, a été reportée au troisième mercredi parce que la salle des séances était, à cette époque, occupée par l'Exposition d'électricité que nous avons déjà signalée.

M. Sciama qui occupe pour la première fois le fauteuil de la Présidence, prononce un discours parfait de forme et de fond, dans lequel il fait l'éloge du président sortant, M. Potier, et de celui qui lui succèdera, M. le docteur d'Arsonval ; ces éloges étaient faciles à faire. M. Sciama a ensuite exposé les difficultés auxquelles se heurtent les constructeurs français et a fait ressortir les différences qui se présentent entre les moyens mis à la disposition des constructeurs étrangers et ceux dont disposent les constructeurs français ; il a défendu nos constructeurs contre les attaques trop souvent répétées contre ceux-ci, à savoir qu'ils manquent d'énergie et d'initiative. Depuis 20 ans, ils ont toujours été en tête du progrès et il leur a fallu au contraire, déployer des ressources personnelles considérables pour maintenir le renom de notre industrie en dépit des circonstances peu favorables où ils se trouvaient.

M. *Picou* expose ensuite la méthode qu'il emploie pour mesurer « les très hautes résistances »

Lorsqu'on peut disposer d'une longueur suffisante de câble, la mesure de la résistance d'isolement se borne à la lecture de la déviation du galvanomètre intercalé dans le circuit. Mais lorsqu'on ne dispose que de très faibles longueurs de câbles, cette méthode ne donnerait aucun résultat, parce que l'intensité du courant qui passerait à travers l'isolant serait trop faible pour donner une dé-

viation sensible. On adopte alors la méthode proposée par Clark pour l'essai des joints des câbles transatlantiques. On sait que cette méthode consiste à plonger la partie du câble à essayer dans une cuvette contenant du liquide, à relier un des pôles de la pile à l'armature intérieure du câble et le second pôle au liquide, en intercalant un condensateur dans le circuit. On comprend que dans ces conditions, le condensateur se charge d'une quantité d'électricité proportionnelle à l'intensité du courant et au temps pendant lequel l'expérience a duré. En déchargeant le condensateur dans un galvanomètre balistique, on obtient, après un temps suffisant, des déviations assez grandes pour servir à la mesure de la résistance d'isolement du bout de câble essayé.

En étalonnant d'abord la pile et le galvanomètre, cette méthode peut être rendue métrique ; c'est ce qu'a fait M. Picou.

Cette méthode permet de mesurer des résistances de 100 000 mégohms.

Son application était très délicate en raison des fuites de courant qui se produisaient par la surface extérieure, aux bouts du câble, et qui venaient complètement fausser les résultats. M. Picou a eu dernièrement connaissance d'un perfectionnement très simple et très pratique qu'il attribue à M. Preece et qui consiste à enrouler simplement quelques tours de fil sur l'isolant aux extrémités du câble et à relier ce fil au second pôle de la pile, avant le condensateur. Dans ces conditions, toutes les fuites passent par ce conducteur et ne parviennent pas au condensateur ; on peut donc obtenir des résultats absolument exacts.

Pour l'essai des liquides isolants, des huiles, par exemple, on relie les pôles de la pile à deux disques conducteurs placés dans le liquide à une distance connue l'un de l'autre et on intercale un condensateur dans le circuit, comme précédemment. Un des deux disques est muni d'un anneau de garde, afin qu'on puisse obtenir des résultats corrects.

A la suite de cette communication, M. *Vigneron* annonce que la méthode décrite par M. Picou est enseignée depuis deux ans au Laboratoire Central d'électricité, et que par conséquent, M. Picou n'est pas le premier inventeur de l'intéressante modification décrite. M. *Pellat* ajoute qu'il croit se souvenir que M. Foussereau a employé une méthode à peu près identique il y a plusieurs années.

M. P. Janet présente ensuite, au nom de M. *Potier*, quelques observations sur les précautions à prendre pour éviter les troubles dus au courant de retour des tramways.

On sait que quand il existe entre deux points d'un conducteur non isolé placé dans le sol une différence de potentiel dépassant la f. é. m. de polarisation, un courant s'établit entre ces deux points à travers le sol ; il se produit alors des actions électrolytiques sur les pièces métalliques voisines et de graves accidents peuvent en résulter, comme on sait. Pour qu'aucune action dangereuse ne puisse se produire, il faut que la différence de potentiel entre deux points quelconques des conducteurs de retour ne puisse dépasser 4 à 5 volts.

On a proposé différentes méthodes pour éviter ces accidents :

Relier l'extrémité la plus éloignée des rails aux conduites à protéger. Cette méthode qui donne de bons résultats dans certains cas, n'est pas une solution générale et doit être rejetée, car elle peut parfois devenir plus dangereuse que le mal lui-même.

Employer un conducteur auxiliaire de dimensions suffisantes pour que la conductibilité totale du circuit de retour soit telle qu'aucune différence de potentiel dangereuse ne se produise. Cette solution serait trop coûteuse.

L'emploi de la distribution à 3 fils a été dernièrement étudiée ici même par M. Lauriol.

On pourrait mettre le pôle positif à la terre au lieu du pôle négatif, mais alors on ne fait que changer le point d'attaque.

Le procédé le plus pratique consiste à éta-

blir des feeders de retour qui sont reliés aux rails en des points convenables.

La résistivité du fer étant de 14 microhms cm une voie simple de 40 kg par mètre linéaire offre une résistance de 0,014 ohm par km et une voie double 0,007 ohm, en admettant que les joints soient parfaits. Si l'on fait les calculs en admettant que sur une ligne de 10 km de longueur 10 voitures absorbant 20 ampères chacune circulent dans chaque direction, c'est à dire qu'il y ait 20 voitures sur la ligne, et que ces voitures soient régulièrement espacées, on voit que la différence maxima de potentiel atteint 10 ou 14 volts ; elle est donc dangereuse et on doit établir des feeders de retour. M. Potier recherche alors quel est le procédé le plus économique. Un calcul assez simple le conduit à admettre que c'est celui qui consiste à diviser la voie en sections et à relier chacune d'elles à l'usine, par un feeder de retour fixé au milieu de cette section. Nous analyserons prochainement cette étude plus longuement. Aujourd'hui, nous nous contenterons de signaler ces conclusions de M. Potier :

1° Rien ne peut remplacer des bons joints électriques des rails ; c'est ce joint qui doit d'abord recevoir l'attention des ingénieurs.

2° Lorsque la longueur de la voie est réduite à 5 km, comme, d'un autre côté, le nombre de voitures en service est réduit de moitié, la différence de potentiel maxima cesse d'être dangereuse, et par conséquent, aucun feeder de retour n'est nécessaire. On aurait donc parfois avantage à diviser la voie en tronçons de 5 km de longueur en alimentant chaque section par une usine particulière ; cette usine pourrait être une sous-station électrique d'un fonctionnement très économique.

G. P.

Société de Physique de Londres

Séance du 22 mai 1895

M. *R. Appleyard* fait une communication sur les « Diélectriques » [1]. L'auteur a tout particulièrement étudié l'influence de la température sur la résistance diélectrique et a employé dans ce but des condensateurs à lame de mica ou de papier paraffiné. Pour éliminer les erreurs dues a la déperdition, la disposition de l'anneau de garde de Price était utilisée dans toutes les expériences. M. Appleyard a trouvé que la capacité d'un condensateur à paraffine varie irrégulièrement avec la température tandis que celle d'un condensateur à mica est constante entre 0 et 43° C, du moins dans les limites de précision que peut donner la méthode de mesure, soit 1 pour 100. La résistance de la paraffine a pu être représentée par la formule

$$R_t = R\,a^t,$$

où log a a pour valeur moyenne, déduite de toutes les mesures de l'auteur, $\bar{1},96344$. Des expériences avec un condensateur plan à lame de paraffine ont montré que quand la température atteint une valeur inférieure d'une dizaine de degrés à celle de la fusion de la paraffine, la résistance diminue rapidement ; une nouvelle chute brusque se produit au début de la fusion, mais pendant la durée de la fusion la résistance demeure constante.

A propos de cette communication le professeur Ayrton dit qu'il a eu lui-même l'occasion de s'assurer du parfait fonctionnement du dispositif de M. Price ; il évite complètement les difficultés que l'on rencontrait antérieurement pour éliminer les erreurs dues à la déperdition. Il ajoute qu'il regrette de n'avoir pu comparer les nombres trouvés par l'auteur avec ceux que M. Perry et lui ont obtenus il y a quelques années.

Le professeur *Viriamu Jones* présente un mémoire sur « Le champ magnétique dû à un courant elliptique en un point du plan de l'ellipse et situé à l'intérieur de celle-ci. »

Le professeur Silvanus Thompson dit que ce mémoire est intéressant non seulement à cause des applications que d'autres pourront faire de la méthode de l'auteur, mais aussi parce qu'il contient les corrections complètes qui doivent être apportées aux déterminations

[1] Voir un travail antérieur de l'auteur sur ce sujet : *L'Éclairage Électrique*, t. I, p. 570 ; 1er décembre 1894.

de l'ohm vrai faites par M. Jones (¹), corrections qui montrent que l'ohm international diffère de bien peu de l'ohm vrai.

En faisant observer que ce mémoire eut mieux été à sa place à la Société de Mathématiques, M. J. J. Walker ajoute que la méthode d'intégration de l'auteur, qui aboutit à des intégrales elliptiques, aurait pu être remplacée par une méthode plus facile.

M. *Campbell* présente deux « Nouveaux instruments pour la mesure directe de la fréquence des courants alternatifs et pulsatifs ».

Ces instruments se composent, soit d'un fil d'acier à tension variable, soit d'un ressort d'acier de longueur variable, fixés à l'une des extrémités et actionnés par un électro-aimant où passe le courant périodique. La tension ou la longueur, suivant l'instrument, sont modifiées jusqu'à ce qu'on obtienne le maximum de resonance. L'instrument présenté par l'auteur était capable de mesurer la fréquence de courants périodiques de 40 à 150 vibrations doubles par second.

Cette communication est l'objet d'une longue discussion à laquelle prennent part MM. Watson, Blakesley, Carter, S. Thompson, Enright et Ayrton. J. B.

Sur le rôle du noyau de fer dans les machines dynamo-électriques. Remarques sur la Note de M. Marcel Deprez ; par A. Potier (¹).

« *a*. L'expérience citée par M. Marcel Deprez dans la dernière séance est la reproduction schématique de faits acquis et utilisés industriellement dans les machines où le circuit induit est formé de barres introduites dans des trous percés, dans le fer de l'armature, parallèlement à l'axe de rotation.

» *b*. Elle ne contredit en rien la règle *classique* qui lie la force électromotrice induite à la variation du flux de force magnétique embrassé par le circuit, mais en est la confirmation.

» *c*. Elle ne contredit qu'en apparence la règle qui attribue à chaque élément du fil induit une force électromotrice proportionnelle au flux coupé par cet élément ; en effet, cette règle ne s'applique, en toute rigueur, qu'au cas où le champ magnétique est invariable en grandeur et en direction en tout point de l'espace, ce qui n'est pas le cas dans l'expérience de M. Marcel Deprez : dans cette expérience le champ est modifié, à chaque instant, par le déplacement du tube de fer doux.

» *d*. Conformément aux théories en vigueur, le champ est presque nul à l'intérieur d'un anneau Gramme suffisamment épais ; on le démontre aussi bien par l'emploi d'une bobine exploratrice reliée à un galvanomètre balistique que par l'examen du spectre, et le résultat de l'expérience est le même, que le fer doux tourne ou soit immobile, s'il est convenablement feuilleté.

» Si l'on substitue un anneau de cuivre à l'anneau de fer, la bobine introduite à l'intérieur de l'anneau montre l'existence d'un flux magnétique intense. On ne peut donc dire que ce flux traverse le fer comme les autres métaux.

» *e*. La connaissance de la grandeur et de la direction du flux en chaque point de l'espace, lorsque cette grandeur et cette direction restent fixes, suffit pour déterminer la force électromotrice induite dans un circuit, quelle que soit la nature des masses entraînées dans son mouvement. »

Des troubles produits par la fulguration sur l'appareil oculaire, par Rohmer (¹).

La foudre peut produire divers désordres dans les membranes qui composent l'appareil oculaire. Dans plusieurs observations, on a noté le blépharospasme, le ptosis, la brûlure de la peau des paupières, des cils et des sourcils (Vossius, Uhde, Purtscher), l'injection des conjonctives (Uhde, Silex, Purtscher), les éraillures et les troubles de la cornée (Vossius), ces dernières lésions étant peu intenses et peu fréquentes. Plus rarement, on observe des troubles de vascularisation de

(¹) Voir *L'Éclairage Electrique*, t. II, p. 176 ; 26 janvier 1895, et t. V, p. 208 ; 2 novembre 1895.

(¹) *Comptes Rendus* t. CXXII, p. 1085 ; séance du 18 mai.

l'iris et du corps ciliaire (Vossius). On a observé huit fois la formation d'opacités totales ou partielles du cristallin (Meyhœfer), outre le cas signalé par Vossius qui, d'après Meyhœfer, ne serait pas dû à l'action directe de la foudre, mais consécutif à une irido-cyclite, suivant l'accident.

Si on examine les lésions du fond de l'œil, on trouve des troubles d'ordres divers intéressant la rétine et le nerf optique. Il peut y avoir un simple désordre fonctionnel sans lésion apparente à l'ophtalmoscope (Ivanoff) ou une atrophie du nerf optique (Uhde, Kniess). L'auteur rapporte l'observation d'un garçon de douze ans qui, à la suite de fulguration, fut atteint d'atrophie des deux nerfs optiques.

Les divers travaux publiés dans ces dernières années, sur les accidents causés par la lumière électrique (Terrier, Martin, Defontaine, Maklakoff, etc.), montrent que ces accidents sont analogues aux précédents. Ces accidents, désignés sous le nom d'*ophtalmie électrique*, se rapportent à deux types. Dans l'ophtalmie légère et au bout de quelques heures, apparaissent des douleurs semblant dues à la présence de corps étrangers dans les culs-de-sac conjonctivaux; il y a de la conjonctivite, du larmoiement; l'iris est contracturé ou dilaté, mais en tout cas paresseux. Comme phénomènes fonctionnels : des sensations subjectives colorées, sortes de phosphènes, et de la photophobie. Ces accidents s'apaisent peu à peu pour disparaître en trois ou quatre jours. Dans les types d'ophtalmie forte, les premiers accidents sont des troubles rétiniens : vision troublée ou abolie, tache opaque sur le point de fixation et apparition de couleurs. Ces phénomènes fonctionnels tendent vite à se calmer, mais au bout de quelques heures (six heures environ), des douleurs violentes se font sentir dans la tête et les yeux. Il survient du larmoiement et cette sensation insupportable de milliers de petits corps étrangers roulant sous les paupières. Ces dernières ne peuvent plus s'ouvrir naturellement et ce blépharospasme est accompagné de photophobie excessive. A ces phénomènes locaux s'ajoutent parfois de la fièvre, de l'insomnie et une violente cuisson des téguments de la face.

D'ordinaire, ces accidents, en apparence formidables, se calment au bout de vingt-quatre heures, et finissent par disparaître totalement en quelques jours. Le pronostic de l'ophtalmie électrique est donc bénin ; cependant Little rapporte le cas d'un gentleman qui, faisant des expériences avec la lumière électrique, dans une université, fut frappé de rétinite. Avec la lumière électrique on n'a pas encore observé d'opacification du cristallin, et il est presque aussi rare d'observer des lésions profondes du fond de l'œil, car, à part l'observation de Little, M. Rohmer n'en a pu trouver dans la littérature médicale. Les accidents produits par la lumière électrique sont absolument analogues à ceux produits par la foudre, sauf qu'ils n'intéressent pas le cristallin et les membranes profondes de l'œil [1].

M. Rohmer aborde ensuite la pathogénie des accidents oculaires causés par l'électricité et la foudre. C'est là une question qui, malgré de nombreuses recherches, ne semble pas élucidée. Les brûlures s'expliquent naturellement. L'irritation kérato-conjonctivale, l'iritis, l'irido-cyclite sont mises sur le compte d'une action physico-chimique, peut-être bien directe, sur les éléments contractiles des muscles et des vaisseaux (Kniess). Il est, toutefois, difficile d'expliquer pourquoi la paralysie peut porter sur un seul muscle en respectant les voisins. Les lésions du nerf

[1] Cependant dernièrement (Congrès d'Ophtalmologie, mai 1895), M. Maréchal, de Brest, a attiré l'attention sur des cas bien et dûment constatés, dit-il, d'accidents très graves provenant de projecteurs électriques. Il s'agirait de patrons d'embarcation, qui, aveuglés par le cône des rayons lumineux des projecteurs qui les suivaient pendant quelques minutes, auraient vu décroître leur acuité visuelle, petit à petit et sans douleur, au point d'avoir à peine aujourd'hui la notion qualitative d'une vive lumière. Ces cas, malheureusement, auraient été jusqu'ici rebelles à tout traitement.

optique résultent probablement d'une neuro-rétinite hémorragique ou d'hémorragies capillaires pouvant se résorber ou amener l'atrophie par prolifération du tissu conjonctif et étranglement des éléments nerveux.

La cataracte aurait pour cause, d'après Leber, une action physico-chimique de la foudre et, d'après Vossius, une irido-cyclite primitive. Quant à ce qui concerne la pathogénie des accidents semblables à ceux de l'ophtalmologie électrique, faut-il mettre en cause les radiations calorifiques, les radiations lumineuses et les radiations chimiques? On peut éliminer l'influence nocive des rayons calorifiques, car l'ophtalmie électrique peut se développer quand l'observateur ne perçoit pas de chaleur (Terrier).

Les rayons lumineux agissent-ils seuls comme le prétend Martin (de Bordeaux) qui invoque à l'appui de son assertion les mêmes formes symptomatiques engendrées par la réverbération des sables et celle de la neige? Emrys Jones, partisan de la même idée, a remarqué que la lumière électrique normale blanche, teintée de bleu pâle détermine plus d'accidents que la lumière violette ou la lumière orangée. Les verres d'urane arrêtent les rayons violets et ultra-violets et cependant n'empêchent pas les accidents oculaires, ce qui plaide, dit Terrier, pour l'action nocive des rayons lumineux. Enfin, l'action exclusive des rayons chimiques est admise par Foucault, Regnault, Charcot, Sons, Bravais, Maklakoff, Stœber, etc.

Le traitement des affections oculaires causées par la lumière électrique et la foudre se réduit à bien peu de chose : applications froides au début de l'ophtalmie (Maklakoff Purtscher), instillations d'atropine qui combattent la photophobie et le blépharospasme (Maklakoff), collyre au sulfate de zinc (Purtscher) contre l'irritation conjonctivale du début. Dans le cas de lésions profondes, on peut dire que la thérapeutique est à peu près désarmée.

Dr Th. G.

Sur l'idée de résistance diélectrique, par P. Drude (1).

Le terme de résistance diélectrique que M. Drude propose d'introduire dans le langage, par analogie avec la résistance magnétique, est défini comme il suit :

Soient N le nombre de lignes de force qui traversent un élément de surface $d\,S$ passant par le point P ; E la valeur de la constante diélectrique au point P ; F_n la composante du champ normale à l'élément $d\,S$;

$$d\,N = \varepsilon F_n\, d\,S,$$

ε est une fonction continue ou discontinue des coordonnées. Les lignes de force ainsi définies ne peuvent se terminer que sur des charges électriques réelles. On sait, d'autre part, qu'à travers une surface fermée renfermant une quantité d'électricité e passent un nombre de lignes de force :

$$N = 4\pi e.$$

D'après cela, si on considère un tube de force infiniment délié, mais d'une longueur quelconque, dont les extrémités sont en P_1 et en P_2 et qui ne renferme pas de charge réelle, le nombre de lignes de force qui traverseront une section $d\,S$ de ce tube, en un point P où la constante diélectrique est E, sera :

$$d\,N = \varepsilon F\, d\,S.$$

F est le champ total en P.

Soit V le potentiel électrique en P, l la longueur du tube de force comptée sur l'axe dans la direction positive des lignes de force :

$$F = -\frac{\partial V}{\partial l} = \frac{d\,N}{\varepsilon\, d\,S},$$

ou en intégrant les deux derniers termes pour toute la longueur du tube :

$$-\int_1^2 \frac{\partial V}{\partial l}\, d\,l = \int_1^2 \frac{d\,N}{\varepsilon\, d\,S}\, d\,l = d\,N \int_1^2 \frac{d\,l}{\varepsilon\, d\,S},$$

On sait, en effet, que $d\,N$ est constant dans toute l'étendue du tube.

Si V_1 et V_2 sont les valeurs du potentiel aux extrémités du tube, et qu'on pose :

$$\int_1^2 \frac{d\,l}{\varepsilon\, d\,S} = r,$$

(1) *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 223.

on trouvera

$$V_1 - V_2 = dN\,r, \qquad (1)$$

ou

$$dN = \frac{V_1 - V_2}{r}. \qquad (2)$$

Ces équations (1) et (2) ont la même forme que les équations d'Ohm : r sera la *résistance diélectrique* du tube de force entre P_1 et P_2 et on pourra énoncer la proposition suivante :

Le nombre de lignes de force courant à l'intérieur d'un tube de force infiniment délié est égal à la différence de potentiel entre les extrémités divisée par la résistance diélectrique du tube

On démontre ensuite facilement les théorèmes analogues aux théorèmes démontrés pour les circuits électriques et magnétiques.

1) Si plusieurs tubes de force, en dérivation, ont leurs extrémités au même potentiel l'inverse de la résistance totale du système est égal à la somme des inverses des résistances individuelles.

2) Si les tubes de force sont en série, la résistance totale est égale à la somme des résistances partielles (pourvu qu'il n'y ait pas de saut de potentiel d'un tube à l'autre, à leur extrémité commune.

3) La capacité d'un conducteur est égale à l'inverse de la résistance totale divisé par 4π de tous les tubes de force qui en émanent, réunis en dérivation.

4) Le coefficient d'influence de deux conducteurs est égal à l'inverse changé de signe et divisé par 4π de la résistance totale des tubes de force qui s'étendent de l'un à l'autre (ces tubes étant supposés disposés en dérivation).

Soient en effet, trois conducteurs électrisés A_1, A_2, A_3 aux potentiels $V_1 > V_2 > V_3$, il existe entre ces trois conducteurs trois systèmes de lignes de force : de A_1 à A_2, de A_2 à A_3, de A_1 à A_3. Nous appellerons r_{12} la résistance diélectrique d'un tube du premier système ; r_{23} et r_{13} la quantité analogue pour le 2e et le 3e systèmes.

D'après les définitions précédentes :

$$N_{1,2} = \frac{V_1 - V_2}{R_{1,2}} = (V_1 - V_2)\sum \frac{1}{r_{1,2}}$$
$$N_{2,3} = \frac{V_2 - V_3}{R_{2,3}} = (V_2 - V_3)\sum \frac{1}{r_{2,3}}$$
$$N_{1,3} = \frac{V_1 - V_3}{R_{1,3}} = (V_1 - V_3)\sum \frac{1}{r_{1,3}}.$$

Si N_1 est le nombre total des lignes de force qui partent du conducteur A_1 et si e_1 est la charge totale de ce conducteur :

$$N_1 = N_{1,2} + N_{1,3} = 4\pi e_1$$

De même :

$$N_2 = -N_{1,2} + N_{2,3} = 4\pi e_2$$
$$N_3 = -N_{1,3} - N_{2,3} = 4\pi e_3.$$

Donc :

$$4\pi e_1 = V_1\left(\frac{1}{R_{1,2}} + \frac{1}{R_{1,3}}\right) - V_2\frac{1}{R_{1,2}} - V_3\frac{1}{R_{1,3}}$$
$$4\pi e_2 = -V_1\frac{1}{R_{2,1}} + V_2\left(\frac{1}{R_{2,1}} + \frac{1}{R_{2,3}}\right) - V_3\frac{1}{R_{2,3}}$$
$$4\pi e_3 = -V_1\frac{1}{R_{3,1}} - V_2\frac{1}{R_{3,2}} + V_3\left(\frac{1}{R_{3,1}} + \frac{1}{R_{3,2}}\right).$$

Si d'ailleurs on appelle C_{11}, C_{22}, C_{12} les capacités C_{hk} les coefficients d'influence mutuelle des 3 conducteurs, on a par définition

$$e_1 = V_1 C_{1,1} + V_2 C_{1,2} + V_3 C_{1,3} \qquad \text{etc.}$$
$$C_{hk} = C_{kh}.$$

ce qui démontre les propositions annoncées.

Ces diverses équations font retrouver immédiatement un certain nombre de théorèmes connus. Par exemple :

Les capacités sont positives, les coefficients d'influence sont négatifs.

Les coefficients d'influence de deux conducteurs l'un par rapport à l'autre sont égaux.

Les capacités vérifient la relation

$$C_{1,1} + C_{2,2} + C_{3,3} = 0.$$

La capacité d'un conducteur n'est jamais inférieure à ses coefficients d'influence.

Pour un même système de conducteurs dans différents milieux diélectriques, les capacités et les coefficients d'influence sont proportionnels à la constante diélectrique du milieu.

Si plusieurs condensateurs sont associés en

surface, leurs capacités s'ajoutent; s'ils sont associés en cascade, l'inverse de la capacité totale est égale à la somme des inverses des capacités partielles, etc., etc.

L'énergie électrique du champ a pour expression

$$E = \frac{1}{8\pi}\int \varepsilon F^2 \, d\tau,$$

la portion de cette énergie contenue dans un tube de force infiniment délié sera, en remarquant que $d\tau = dS.dl$:

$$dE = \frac{1}{8\pi}\int dN\, F\, dl = \frac{dN(V_1 - V_2)}{8\pi}.$$

Si le champ renferme deux conducteurs entre lesquels s'étendent N_{12} lignes de force :

$$E_{1,2} = \frac{N_{1,2}(V_1 - V_2)}{8\pi} = \frac{N_{1,2}^2 R_{1,2}}{8\pi} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{8\pi R_{1,2}}.$$

Les forces mécaniques s'exercent toujours dans un sens tel qu'elles tendent à rendre E minimum si les charges électriques et par suite N_{12} restent constantes, elles tendent donc à rendre minima la résistance diélectrique.

Le travail fourni par les forces électriques pendant une déformation du système sera :

$$dA = -d_e E,$$

La variation d_e étant calculée à charges constante, donc

$$dA = -\frac{N_{1,2}^2}{8\pi} dR_{1,2} = -\frac{(V_1 - V_2)^2}{8\pi}\frac{dR_{1,2}}{R_{1,2}^2},$$

ou encore

$$dA = +d_v E,$$

la variation d_v représentant la variation de E à potentiel constant.

La force F qui agit sur un corps placé dans le champ suivant la direction s, ou le moment K du couple relativement à un axe quelconque seront respectivement.

$$F\,K = -\frac{\partial_e E}{\partial s} = +\frac{\partial_v E}{\partial s}$$

$$K = -\frac{\partial_e E}{\partial \varphi} = +\frac{\partial_v E}{\partial \varphi},$$

φ étant l'angle de rotation autour de l'axe.

Il est important de remarquer que cette notion de résistance diélectrique n'apporte aucune simplification dans les calculs réels ; car pour calculer cette résitance, il faut connaître la distribution des lignes de force ; mais elle peut rendre quelques services dans l'exposition et indiquer immédiatement quelques théorèmes intéressants.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Les nouveautés électriques, par Julien Lefèvre, docteur ès-sciences, professeur à l'Ecole des Sciences de Nantes. Un vol. in-16 de 412 pages et 157 figures. *J. B. Baillière et fils,* éditeurs, 19, rue Hautefeuille; prix cartonné : 4 fr.

Dans cet ouvrage, écrit sans aucune prétention et avec cette clarté que l'on trouve dans les divers ouvrages de l'auteur, M. Lefèvre décrit les progrès et les nombreuses applications de l'électricité qui datent de la publication de la première édition de son *Dictionnaire d'électricité et de magnétisme.*

Vingt chapitres bien ordonnés suffisent à cette revue. Dans le premier, l'auteur expose les travaux faits dans ces dernières années sur les ondulations hertziennes, les courants de haute fréquence, la production des champs magnétiques tournants et les courants polyphasés.

Dès le second chapitre, consacré aux piles et aux dynamos, nous entrons dans le domaine des applications. Nous y trouvons la description de la pile Lalande et Chaperon, de la pile Leclanché-Barbier, de la pile Jeanty, de l'appareil Fulgur, du turbo-générateur électrique, de la dynamo à gaz Bréguet, des dynamos Leeds, Scott et Mountain, Rechniewsky, des alternateurs Labour, Cail-Helmer, O. Patin, Kingdon, Zipernowsky, Siemens et Halske à courants triphasés, etc.

Les accumulateurs et transformateurs forment l'objet du chapitre III : accumulateurs à navettes René Blot, Epstein, Tudor, Laurent Cély, etc ; transformateurs Ganz, Labour, Thomson Houston.

Après avoir décrit quelques nouveautés dans les appareils accessoires : balais, rhéos-

tats, régulateurs de tension, et dans les appareils de mesure et de contrôle : voltmètres, compteurs, wattmètres, etc, l'auteur passe à la description des lampes nouvelles à arc ou à incandescence, des installations importantes faites dans ces dernières années et des applications de l'éclairage électrique.

L'électricité source de chaleur est considérée dans le chapitre IX, où l'on trouve quelques renseignements sur la fabrication électrique du phosphore, l'application de l'électricité à la cuisine et au chauffage, le forgeage et la soudure électrique.

Les applications de l'électricité à la fabrication de l'ozone, l'électrochimie, l'électrométallurgie, les applications médicales sont passées en revue dans les chapitres suivants.

Les moteurs électriques et les applications mécaniques de l'électricité forment deux chapitres des plus intéressants de l'ouvrage.

La description de quelques perfectionnements dans la distribution et celle de quelques stations centrales importantes précèdent le chapitre consacré à la traction électrique, application où l'auteur avait à faire ample moisson de renseignements nouveaux et intéressants.

Le chapitre XVIII, consacré à la télégraphie, ne contient guère que la description du télégraphe imprimeur Higgins. Le suivant, qui traite de la téléphonie, est mieux rempli ; les nouveaux téléphones et microphones Ader, Mercadier et Anizan, d'Arsonval, de Lalande, etc, en forment la matière. Enfin le dernier chapitre est consacré aux rayons Roentgen ; sa rédaction se ressent nécessairement de la rapidité avec laquelle elle a dû être faite ; il ne contient qu'un résumé très succinct du premier mémoire de Roentgen.

L'ensemble de l'ouvrage est fort bien compris et aucune application de quelque importance n'a été oubliée. Aussi sommes-nous persuadé que beaucoup de nos lecteurs, bien que connaissant déjà, par les articles et revues publiés dans ce journal, la presque totalité de volume de M. Lefèvre, le liront néanmoins avec plaisir et profit. J. B.

Les moulins à vent et leurs applications à l'agriculture, par A. Legoux, professeur de mécanique à la Faculté des Sciences de Toulouse.

Dans cette plaquette, extraite du *Journal d'Agriculture pratique et d'Economie rurale pour le midi de la France*, l'auteur fait ressortir les nombreux services que peuvent rendre à l'agriculture les moulins à vents perfectionnés que l'on construit aujourd'hui ; il insiste également sur l'utilité d'adjoindre à ces appareils une batterie d'accumulateurs permettant de régulariser l'utilisation de l'énergie empruntée au vent et décrit quelques installations de ce genre.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Baltimore (Etats-Unis). — *Traction*. — On construit en ce moment, à Baltimore, un chemin de fer électrique allant à Frederick et Middletown. Les promoteurs de l'entreprise viennent d'acheter à Braddock Spring, une grande étendue de terrains pour la construction de la station centrale destinée à fournir du courant à la ligne. Cette ligne sera mise en exploitation en juin 1897.

Barcelone (Espagne). — *Éclairage*. — L'éclairage électrique dont Barcelone sera prochainement doté contribuera encore à l'embellissement de cette charmante cité.

Une importante station centrale destinée à alimenter 60 000 lampes à incandescence est sur le point d'être construite sous la direction de l'ingénieur Jorge Ahlemeyer de Madrid.

Bilbao (Espagne). — *Éclairage et transport de force*. — La ville de Bilbao qui, on le sait, est celle qui tient la tête parmi les villes industrielles du nord de l'Espagne pourra bientôt employer l'énergie électrique sous toutes ses formes d'utilisation.

Nous apprenons à ce sujet que deux stations centrales sont en cours de construction dans les environs de la ville. La première de ces stations, située à environ 14 km, produira du courant alternatif biphasé sous une tension de 4 000 volts transformé à 2 500 dans les circuits d'alimentation. Ce courant alimentera 2 000 lampes et le reste sera employé comme force motrice.

La deuxième station située à 2 km de la ville pourra alimenter 9000 autres lampes et distribuer le courant en excès pour être employé comme force motrice. Le courant alternatif à la tension de 4000 volts à l'usine génératrice sera également ramené à 2500 par la station transformatrice située à l'usine même.

L'énergie hydraulique et la vapeur seront employées l'une et l'autre pour actionner les alternateurs des deux stations.

Cairnbaan (Ecosse). — Force motrice et éclairage. — Il est question de construire un canal de navigation réunissant deux lacs, Loch Gilp et Loch Crinan. Les écluses et vannes de ce canal seront manœuvrées par deux moteurs électriques. A cet effet, on établira une station hydraulique utilisant les eaux d'un des torrents de Knapdale Hills, montagne située à environ 2 km dans l'ouest de Cairnbaan. Les génératrices d'énergie électrique couplées aux turbines alimenteront non seulement les moteurs des portes-écluses et des vannes, mais aussi des lampes à arc installées sur toute la longueur du canal qui permettront de pouvoir écluser et naviguer la nuit.

Chicago. — Traction. — Un projet est à l'étude pour la construction d'un chemin de fer électrique qui relierait les villes de Chicago, Lemont et Joliet et desservirait en outre un grand nombre de petites villes de moindre importance. Cette ligne d'une longueur d'environ 65 kilomètres servirait également au trafic ; les trains seront munis d'un certain nombre de wagons destinés uniquement au transport des marchandises. Le coût d'installation de la voie et de la station productive de courant s'élève à 4 millions de francs. Le mode de distribution adopté dans le projet sera celui par câbles aériens et trôlet.

Folsôm-Sacramento (Amérique). — Transport de force. — Une importante station centrale destinée au transport de l'énergie par l'électricité vient d'être achevée et sera incessamment mise en exploitation. Cette usine située à Folsom est une station hydraulique dont les quatre puissantes turbines de 1250 chevaux chacune entraînent 4 générateurs à courant triphasé de 750 kilowatts.

Les turbines sont du type Mc Cormick à arbres horizontaux. Les alternateurs ont chacun 24 pôles. Les fréquences sont d'environ 60 par seconde à la vitesse normale de 300 révolutions par minute et la tension de 800 volts. Le courant produit sous cette tension est conduit à une série de transformateurs d'une capacité de 250 kw chacun et dont on maintient la température normale au moyen d'une insufflation d'air. La tension, de 800 volts à l'arrivée dans les appareils, est portée à 11000 et le courant est ensuite dirigé sur les câbles à haute tension de la ligne aérienne aboutissant à Sacramento. Les pylônes supportant ces câbles ont deux bras dont chacun porte 6 isolateurs triples et reçoit les 6 câbles de deux des circuits. Chacun des 4 circuits correspond à l'un des 4 alternateurs, de sorte qu'en cas d'avarie de l'un d'eux, il pourra aisément être supprimé de la ligne.

La distance de Folsom à Sacramento est d'environ 38 km ; la perte en ligne pour une puissance transmise de 3000 chevaux n'est que de 7,5 pour 100. La plus grande partie de l'énergie électrique est transformée à 500 volts et employée par les tramways de la ville comprenant 32 voitures motrices et un plus grand nombre de voitures de remorque circulant sur un réseau de 39 km de voie simple et 28 km de voie double.

Kiel (Allemagne). — Traction. — Un réseau de tramways électrique en cours d'installation depuis quelque temps sera prochainement inauguré.

Ce réseau d'une longueur totale de 19 kilomètres sera desservi par 35 voitures motrices et 18 remorquées.

Leadville (Colorado).— Station centrale et éclairage.— La cité de Leadville, située à 3000 mètres au-dessus du niveau de la mer, est paraît-il, l'une des premières villes d'Amérique où l'électricité ait été employée pour l'éclairage public.

L'usine génératrice, récemment inaugurée, de la Citizen's Electric Light Company possède 3 machines à vapeur actionnant 3 dynamos produisant 50 kilowatts chacune à 275 tours par minute.

Une quatrième machine entraîne deux autres dynamos de 25 kw montées sur chacune des extrémités de l'arbre du moteur et pouvant fonctionner ensemble ou séparément. Ces deux dernières dynamos sont du type multipolaire à enroulement compound ; la tension est de 125 volts à 300 révolutions par minute. Ces machines ne sont employées qu'en cas de surcharge et servent de réserve.

Le courant est distribué, par le système à trois fils, indifféremment aux lampes à arc, à incandes-

cence et aux moteurs. Une dynamo de 25 kw suffit pour l'éclairage pendant les heures avancées de la nuit (de 2 à 5 heures du matin).

Milan.— Traction. — L'expérience du système Thomson-Houston tentée à Milan, en 1893, sur la ligne de la place du Dôme à la porte Sempione, puis sur la ligne allant au Cimetière Monumental, en 1895, a été si concluante et a donnée une telle satisfaction que la Municipalité de Milan a concédé à la Società generale italiana di elettricità « Sistema Edison » non seulement l'exploitation du réseau urbain entier, mais encore celui de nouvelles lignes qui seront créées au fur et à mesure des besoins. Le nouveau réseau très dense au centre de la ville et rayonnant dans toutes les communes environnantes comprendra 18 lignes dont la longueur totale sera de 57 795 m.

Le réseau sera desservi par 163 voitures automobiles au minimum ; en outre il y aura au dépôt 20 voitures automobiles en réserve et 30 voitures remorquées, faisant un total de 213 voitures.

Chaque voiture automobile devra parcourir 150 kilomètres par jour en moyenne.

Ces voitures seront alimentées par une station centrale établie à proximité de la Pta P° Umberto. Au début la force motrice sera fournie par des machines à vapeur, puis par un transport de force motrice empruntée aux rapides l'Adda (déversoir du lac de Côme), dont la concession a été accordée à la Société Edison. Un barrage sera établi à 34 km de Milan à Paderno d'Adda, de façon à établir un réservoir alimentant un canal de 3 km de longueur. Au pont de Paderno la galerie ouverte sera remplacée par une conduite fermée amenant l'eau sous pression aux turbines qui fonctionneront sous une chute de 40 m de hauteur. La puissance disponible sera de 24000 chevaux, mais on utilisera seulement 6 000 chevaux au début. Une partie de cette puissance sera employée à éclairer et à fournir la force motrice dans beaucoup de villages situés sur le parcours de la ligne allant à Milan.

La mise en service de ce réseau aura lieu le 1er janvier 1897.

New-Castle (Etats-Unis). — *Traction.* — La traction électrique sur les voies ferrées prend de jour en jour des proportions considérables. L'Amérique est particulièrement avancée dans ce mode de traction ; il se passe rarement une semaine sans que l'on apprenne la création d'un chemin de fer électrique ou la transformation des trains à vapeur en trains électriques. Parmi les villes américaines où différents travaux de transformation ou de création sont soit en projet, soit en voie d'exécution, nous pourrions citer : New Castle, Thomaston, Tamaqua, Augusta, Alexandria, Mamfield, Portsmouth, Cumberland et bien d'autres encore qu'il serait trop long d'énumérer.

Niagara-Buffalo. — Transport de force.— Nous apprenons que le Niagara Falls Power Company, d'accord avec les représentants de la Chambre des Travaux Publics de Buffalo, est sur le point de créer un réseau de distribution pour fournir à cette dernière ville 10 000 chevaux sous forme d'énergie électrique produite par l'importante station d'utilisation des chutes du Niagara.

L'*Électrician* donne les détails suivants sur les conditions d'installation du réseau.

La première d'entre les différentes lignes projetées sera établie sur des pylônes situés à une distance de 15 m au minimum et de 30 au maximum. Les câbles employés pour la transmission des 10 000 chevaux, d'environ 1,5 cm de diamètre, seront au nombre de trois au moins et de 9 au plus ; les conducteurs devront être à une hauteur d'au moins 6,60 m au-dessus du sol, excepté aux points de croisement avec d'autres lignes où les câbles devront avoir une élévation plus grande ; les isolateurs destinés à recevoir les conducteurs seront d'un modèle spécial.

Il est également question d'établir une seconde ligne souterraine, latérale à la première ; les canalisations seront faites en ciment ou en argile vitrifiée ; les câbles conducteurs, en cuivre, isolés au caoutchouc, devant être parcourus par un courant sous une tension de 20 000 volts, ne devront pas être plus rapprochés de la surface du sol de moins de 35 cm.

Une autre ligne sera établie sur les terrains de la New York Central and Hudson River Railroad Company. L'installation de cette dernière ligne consistera en câbles aériens supportés par des pylônes dont la disposition sera analogue à celle adoptée pour la première ligne du réseau.

Pelzer (États-Unis). — Transport de force. — L'utilisation de l'eau pour la production de l'énergie électrique paraît prendre une extension considérable aux États-Unis. A la suite du succès qu'a

obtenu l'installation colossale de l'utilisation des chutes du Niagara, un grand nombre d'installations du même genre ont été créées soit par des compagnies soit par des industries privées.

Les importants ateliers de l'industrie cotonnière de Pelzer viennent d'être dotés d'une distribution de courants polyphasés par une station hydraulique éloignée d'environ 4 km et actionnant 3 alternateurs de 750 kilowatts à 3330 volts. Le courant engendré est conduit par fils aériens à une station transformatrice située sur les lieux mêmes de l'utilisation. Parmi les nombreux moteurs employés dans les ateliers, il en est un de 400 chevaux, les autres sont d'une puissance variant de 5 à 110 chevaux. L'usine et toutes ses dépendances sont éclairées à l'électricité.

West Ham (*Angleterre*).— *Éclairage.*— L'ingénieur électricien de la ville, M. Risch, récemment chargé par le Conseil Municipal d'étudier un projet d'éclairage électrique, dit dans sont rapport, qu'il serait avantageux d'employer du courant alternatif transformé. La station produirait du courant alternatif à 2 000 volts distribué à cette tension par des conducteurs principaux aboutissant en différents points de la ville où seraient placés des transformateurs ramenant la tension au régime d'utilisation à 100 volts; le courant serait ensuite distribué par un système à trois fils.

Pour l'éclairage public l'ingénieur propose des lampes à arc alimentées par une dynamo à courant continu. Les pylones supportant ces lampes seraient aussi munies de lampes à incandescence qui remplaceraient la lampe à arc aux heures avancées de la nuits. La proposition de M. Risch a été adoptée par le Conseil.

West-Rand. — *Transport de force.* —L'*African Review* annonce que la Koesterfontein Company se propose d'établir une importante station centrale destinée à fournir de l'énergie électrique pour être employé comme force motrice dans les nombreuses mines de cette contrée.

La station hydraulique sera construite sur le Steenkoppies dont les eaux actionneront les turbines couplées aux appareils générateurs. Le courant produit sera distribué à toutes les mines environnantes, dans un rayon d'environ 40 km de l'est au sud-est qui comprend les mines de Botha ou Randfontein.

Les frais d'installation s'élèveront à 500.000 fr. La Koesterfontein Company disposera, en outre de l'énergie qu'elle utilisera dans les mines qui lui appartiennent, de 1000 chevaux qui seront vendus au prix de 1000 francs le cheval-an.

Zermatt (*Suisse*).— *Traction.* — Le chemin de fer qui doit mettre le sommet du Gornergrat (3136 m) à deux heures de Zermatt (1620 m) aura une longueur de dix kilomètres et sera mû par la force du torrent de Findelen transformée en électricité. Le courant électrique sera amené sur la voie par une conduite aérienne, que des rouleaux mettront en contact avec le moteur installé dans l'un des deux wagons du train. Cent personnes pourront être transportées à chaque voyage. Le billet Zermatt-Gornergrat coûtera 12 fr pour la simple course et 18 fr pour la double course. De Zermatt au Riffel, on paiera 8,40 fr. Il n'y aura d'ailleurs qu'une seule classe.

L'entreprise est remise à la maison Greulich et Haag, à Bienne. La ligne sera livrée à l'exploitation en 1898. Elle sera construite pour le compte d'une société par actions au capital de deux millions, laquelle émettra un emprunt 4 1/2 o/o d'un million et demi. Le plan financier prévoit 280 000 fr de recettes brutes annuelles et 100 000 fr de bénéfice net.

Zurich (*Suisse*). — *Éclairage.* — Une installation faite dans cette ville offre un nouvel exemple des avantages que l'on peut retirer de l'emploi des accumulateurs, même dans les distributions par courant alternatif.

Il s'agissait d'installer 2 000 nouvelles lampes pour l'éclairage d'un grand concert de Zurich, le Neue Tonhalle. La station centrale ne pouvait malheureusement subvenir à cette nouvelle installation, sa production normale étant entièrement absorbée aux heures de grande dépense par les installations déjà faites. D'un autre côté, il était impossible d'augmenter la puissance de l'usine par l'installation de nouvelles génératrices, la section des conducteurs de distribution ayant éte alors insuffisante pour livrer passage au courant.

On tourna la difficulté en installant dans les sous-sols de l'établissement une batterie d'accumulateurs chargée pendant le jour par le courant de la station centrale et servant à alimenter les lampes du concert pendant la nuit.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. MAUCHAUSSAT, 32 Boulevard de Vaugirard

Tome VII | Samedi 13 Juin 1896 | 3e Année. — N° 24

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LA TRACTION ÉLECTRIQUE PAR COURANTS POLYPHASÉS

LES TRAMWAYS DE LUGANO.

L'application du système polyphasé à la traction des tramways présentait quelques difficultés : on avait à surmonter certains préjugés qui semblaient condamner a priori toute tentative de ce genre : on avait surtout à lutter contre la réputation justement acquise de la traction par courants continus qui, depuis longtemps a fait ses preuves. Aucune compagnie, soucieuse de ses intérêts ne voulait consentir à tenter l'expérience d'un système nouveau, et les constructeurs n'avaient pas l'occasion d'étudier le matériel spécial qu'exige la traction par courants polyphasés. Aussi doit-on féliciter la firme Brown Boveri ainsi que M. Bucher-Durrer de leur intelligente initiative : ils en ont d'ailleurs été récompensés par un succès complet.

La première objection qu'on faisait à l'application du système polyphasé visait la nécessité d'avoir au moins deux fils de trôlet ; on craignait que l'aspect du réseau aérien ne devint, par suite de cette complication, par trop disgracieux. Cette objection n'a toutefois pas l'importance qu'on pourrait être tenté de lui accorder : le fil de trôlet n'a, en effet, qu'une influence relative, très faible sur l'aspect du réseau (fig. 1 et 2). Si le coup d'œil manque parfois d'esthétique, l'effet est en grande partie dû à la présence des pylônes et des fils transversaux qui servent à supporter le conducteur ; il faut, de plus, remarquer que le poids des deux conducteurs qu'exige le système polyphasé étant pratiquement à peu près le même que celui du conducteur unique qu'utilise le système continu, les pylônes et les fils transversaux restent aussi les mêmes et l'encombrement des voies n'est pas augmenté.

On craignait encore de rencontrer quelques difficultés pour les aiguillages.

Il suffit pour lever cette objection de remarquer qu'on peut, sans inconvénients, supprimer momentanément la communication avec l'un des conducteurs. On sait: en effet, qu'un récepteur polyphasé, en marche, continue à fonctionner, comme moteur monophasé si l'on supprime l'un des conducteurs. Les ressauts du trôlet aux points d'attache du conducteur où ses déraillements dans les passages en courbe sont donc sans influence sensible sur le fonctionnement du moteur.

Les étincelles qui se produisent entre le galet de prise de courant et le conducteur sont d'ailleurs beaucoup moins fortes que dans le système par courant continu ; il en résulte une usure moins rapide des conducteurs aériens.

Les principaux avantages du système polyphasé appliqué à la traction sont les suivants :

Il permet, tout en réalisant une sérieuse économie sur le coût de la ligne et tout en se limitant à une perte insignifiante, d'établir des réseaux de très long développement.

Cette propriété est uniquement due à la facilité avec laquelle on peut transformer les courants alternatifs à l'aide d'appareils statiques qui possèdent un rendement très élevé et n'exigent aucune surveillance. On peut ainsi distribuer l'énergie à haut potentiel et avec une perte très réduite à un certain nombre de postes de transformation répartis le long de la ligne. Ces postes alimentent à leur tour le réseau à la tension d'utilisation. Non seulement on supprime ainsi les gros feeders coûteux, mais on peut encore diminuer le poids des conducteurs de prise de courant.

Le système polyphasé permet donc d'utiliser pratiquement à la traction des tramways, des chutes hydrauliques qui peuvent être assez éloignées du centre du trafic. Cette utilisation est, il est vrai, théoriquement possible avec l'emploi exclusif des courants continus, ou encore avec un système mixte qui consisterait à transporter, par courants alternatifs l'énergie de la chute jusqu'aux centres de transformation et à l'y convertir en courant continu ; mais le rendement d'une telle installation serait assez faible et, de plus, comme elle comporte l'emploi de transformateurs rotatifs, elle exigerait une surveillance continuelle et par suite des frais supplémentaires de personnel qui grèveraient l'exploitation.

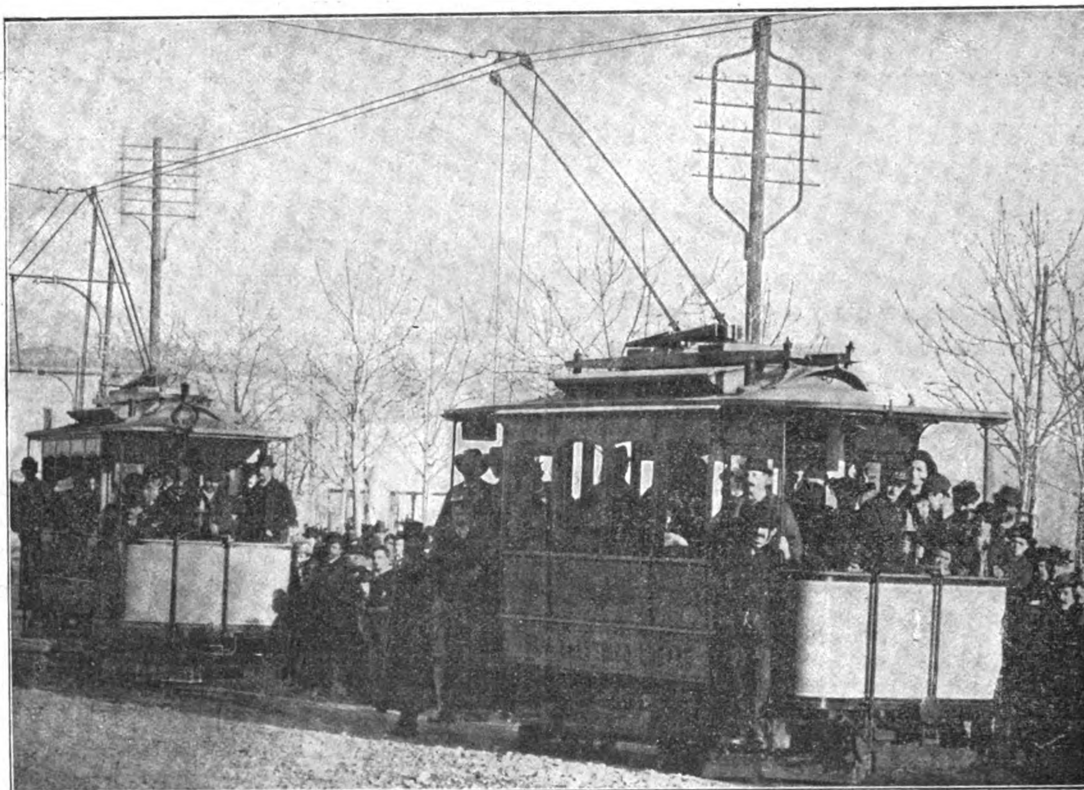


Fig. 1.— Tramways à courants polyphasés de Lugano.

Les avantages du matériel considéré en lui-même sont indiscutables : il est reconnu que les moteurs polyphasés présentent un caractère de construction mécanique simple, robuste et compacte que n'ont pas les moteurs à courant continu ; ils présentent sur ces derniers l'avantage capital de ne pas nécessiter l'emploi d'un collecteur.

Bien que les moteurs à courant continu, par suite des perfectionnements apportés par la pratique soient maintenant d'un emploi industriel courant et que l'entretien des col-

lecteurs ne donne plus lieu à de sérieuses difficultés, il est unanimement reconnu que les moteurs sans collecteurs sont préférables. Leurs avantages sont particulièrement appréciables lorsqu'il s'agit d'une application à la traction des tramways ; le service entraîne, en effet, de continuelles variations dans l'intensité du courant qui peut atteindre des valeurs très élevées et le moteur se trouve, de plus, placé dans une position telle que toute surveillance est impossible.

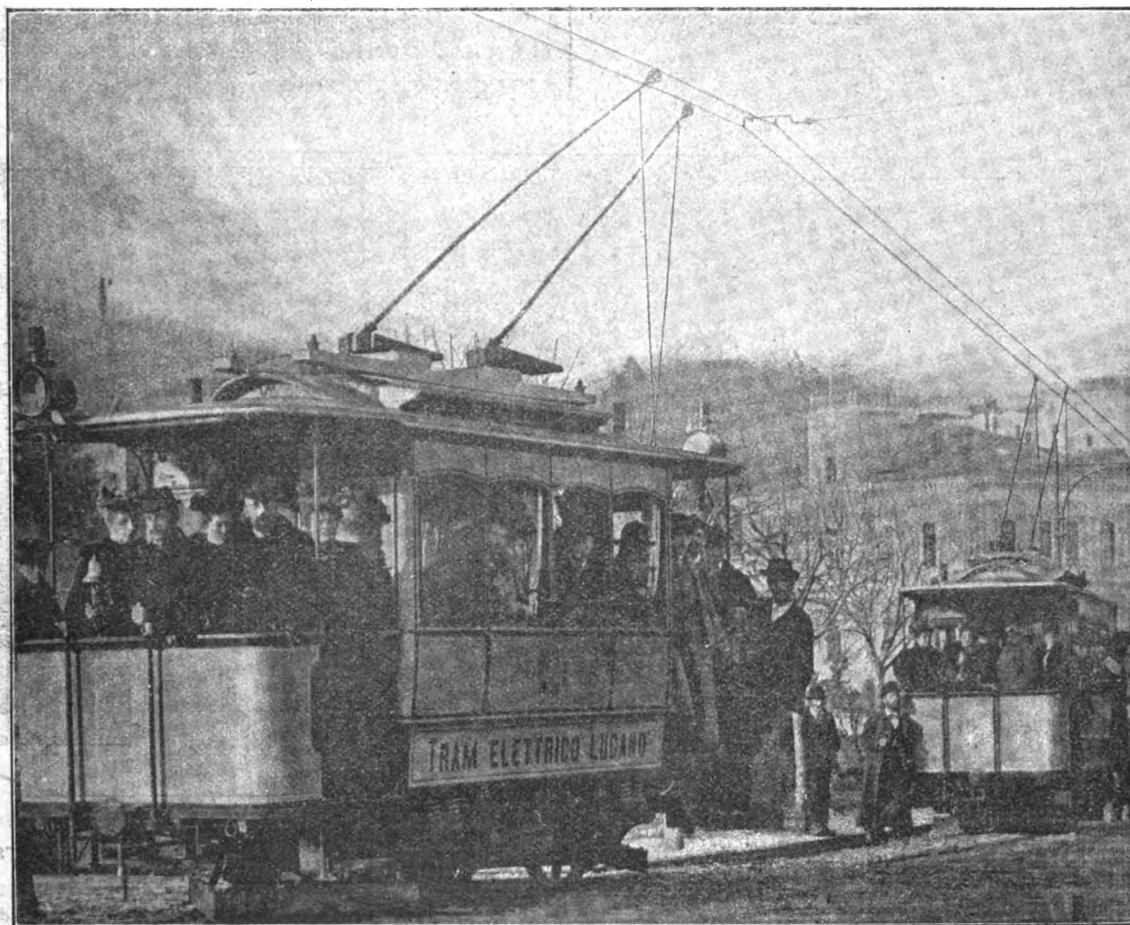


Fig. 2. — Tramways à courants polyphasés de Lugano.

Quelques auteurs, partisans du continu, ont affirmé qu'il était impossible d'obtenir avec les moteurs polyphasés un couple de démarrage aussi puissant que celui que peuvent fournir les moteurs à courant continu : cette assertion est erronée. Pour des moteurs de même puissance on peut obtenir avec le moteur polyphasé un couple de démarrage supérieur ; l'induction dans le fer à charge normale y est, en effet, beaucoup plus faible que dans les moteurs à courant continu, et le couple peut, par suite être, momentanément, considérablement accru.

Le réglage de la vitesse s'obtient, sans agir sur le circuit inducteur, en insérant des résistances dans l'induit; comme on dispose, lors de la construction, du voltage engendré dans l'induit il est loisible de le déterminer de façon à simplifier la construction du rhéostat et à abaisser son prix de revient.

Les tramways à courant continu ne présen-

tent pas cet avantage; les rhéostats, étant forcément intercalés dans le circuit inducteur dont la tension est assez élevée, sont exposés à de fréquentes détériorations.

Le rhéostat d'induit permet de faire varier très facilement la vitesse du moteur de zéro au synchronisme.

En marche normale les résistances d'induit doivent être complètement retirées; le moteur a alors la précieuse propriété, que vérifie parfaitement la pratique, de conserver une vitesse sensiblement constante et indépendante des variations de charge entre des limites assez éloignées. Aux montées comme aux descentes le tramway se maintient à sa vitesse normale sans qu'il soit nécessaire de manœuvrer aucun

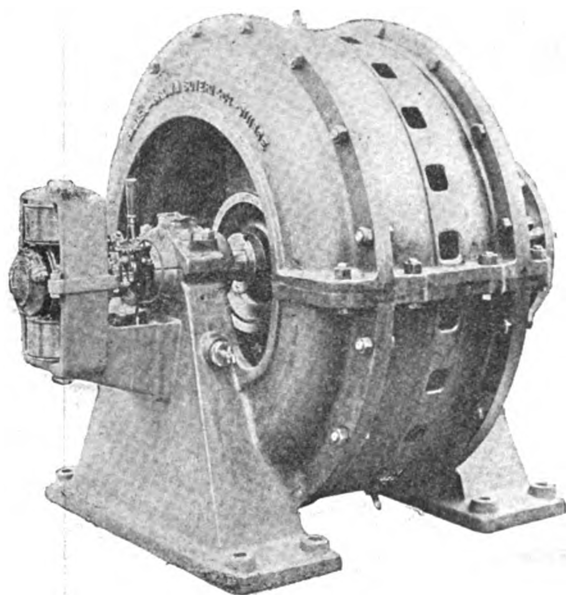


Fig. 3. — Vue du générateur triphasé de 150 chevaux.

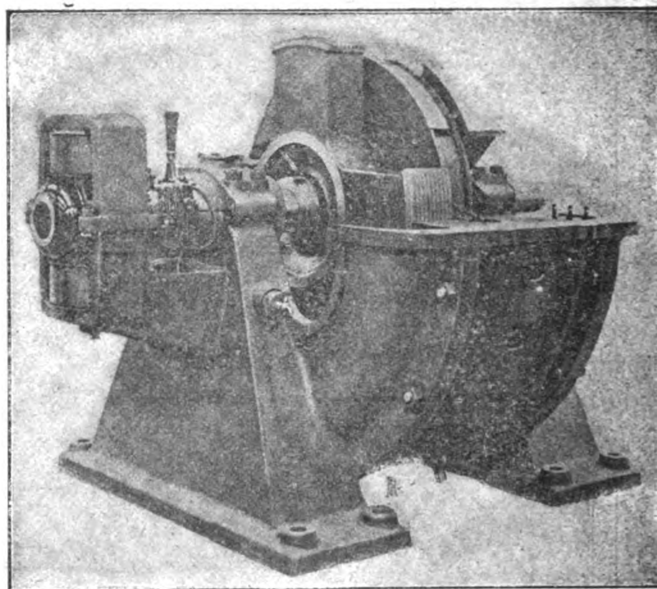


Fig. 4. — Alternateur en partie démonté.

appareil de réglage; la conduite d'une voiture ainsi équipée est donc très simple. Il y a lieu de faire en outre observer qu'aux descentes le moteur devient automatiquement générateur; il fournit du courant au réseau tout en servant de frein à la voiture.

La Firme Brown Boveri et Cie de Baden entreprit en 1894, sur la demande de M. Bucher-Durrer, de Kerns, les premières études d'un tramway électrique polyphasé. Le projet définitif fut adopté en février 1895. Le problème se présentait de la façon suivante :

A environ 12 km de Lugano M. Bucher-Durrer possèdent une chute d'eau qu'il utilise depuis plusieurs années déjà pour fournir l'éclairage électrique à Lugano à l'aide de courants alternatifs. Il s'agissait d'utiliser le surcroît de puissance de l'usine pour actionner les tramways de Lugano, le chemin de fer du mont St-Salvadore et aussi diverses usines privées.

Le tramway avait pour but de relier Lugano aux villas et aux hôtels des environs. Il était impossible de songer à établir, à Maroggia, une station à courant continu alimentant directement le réseau à la tension habituelle de 500 à 600 volts. L'établissement d'une station transformatrice eût été trop coûteux et eût, d'autre part, donné un rendement trop faible. Toutes les conditions imposées pouvaient, par contre, être très facilement remplies en adoptant le système polyphasé. Aussi M. Bucher-Durrer, n'hésita-t-il pas à accepter la solution rationnelle de MM. Brown Boveri et C[ie]. L'inauguration de la ligne n'a été retardée que par la longueur des délais nécessaires pour l'obtention de la concession.

La station de Maroggia possède une tur-

bine Bell, à haute chute, de 300 chevaux, à arbre horizontal elle est accouplée, à l'aide d'un manchon élastique à un générateur triphasé de 150 chevaux. La vitesse est de 600 tours à la minute, la tension de 5 000 volts et la fréquence de 40 périodes à la seconde.

La construction du générateur (fig. 3 et 4) est telle que l'induit est fixe ainsi que la bobine inductrice. Seul le noyau de fer de l'inducteur est mobile.

Contrairement à la disposition ordinaire des machines de ce genre les pièces polaires ne sont pas disposées vis à vis les unes des autres, mais décalées de telle sorte que les polaires situées d'un côté de l'inducteur soient placées vis à vis du milieu de l'intervalle qui sépare les polaires situées de l'autre côté. Cette disposition présente le grand avantage de simplifier le bobinage de l'induit ; les bobines deviennent en effet communes pour les deux moitiés de l'induit. Les conducteurs sont logés dans des trous pratiqués à la périphérie de l'induit et soigneusement isolés dans des tubes spéciaux.

L'excitatrice est montée sur l'arbre de l'alternateur comme le montre les figures.

Les fils de la ligne qui conduisent l'énergie à Lugano ont 3 mm de diamètre. On n'a installé, jusqu'à présent, qu'un seul transformateur vers le milieu de la ligne, on a toutefois prévu avec le développement du trafic, l'installation d'autres postes de transformation. Les transformateurs abaissent la tension à 400 volts.

Le développement total de la ligne (fig. 5) atteint 4900 m ; elle présente sur d'assez longs parcours des

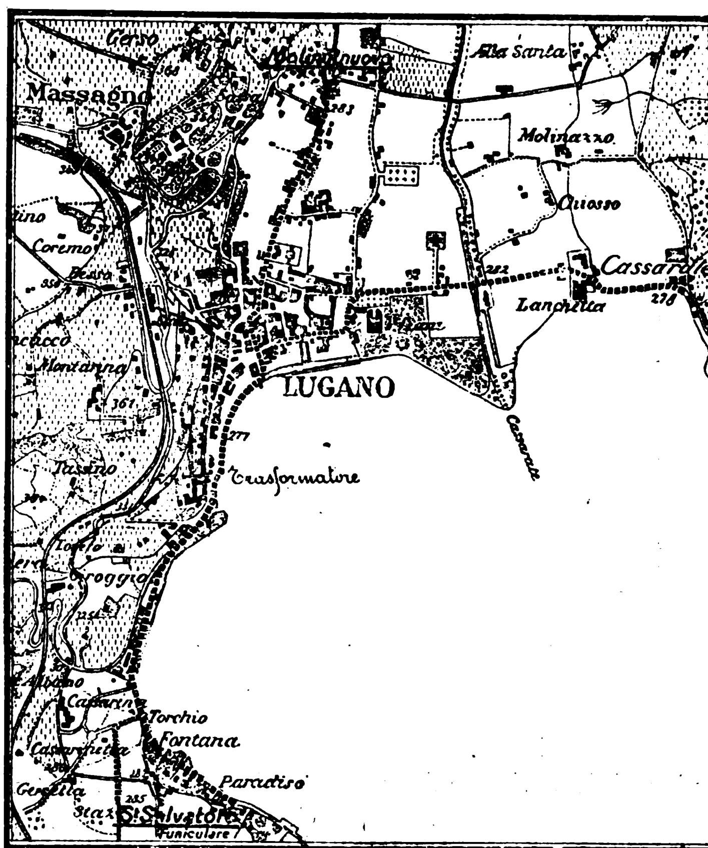


Fig. 5 — Plan de Lugano et des environs.

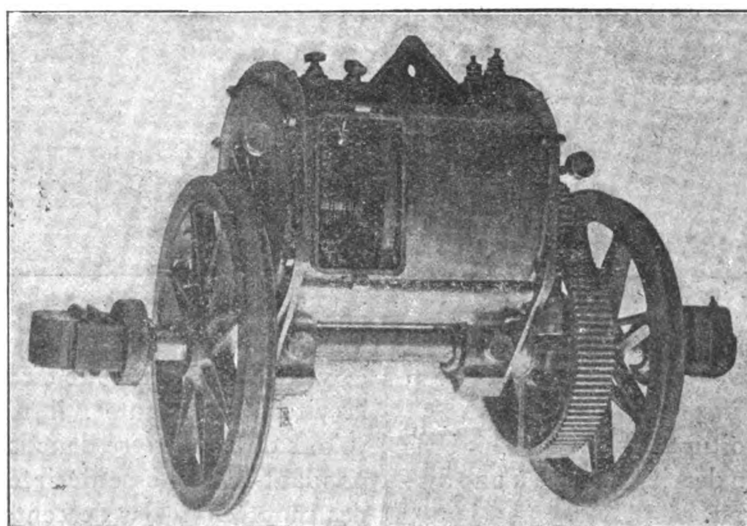


Fig. 6. — Vue en plan des moteurs de 20 chevaux

pentes de 3 pour 100 et en 3 points, des pentes de 6 pour 100 de plus courte étendue.

Les deux fils de trôlet ont 6 mm de diamètre, ils sont distants de 25 cm.

Les éclisses sont en cuivre et soigneusement rivées.

Il y a actuellement en service 4 voitures qui sortent des ateliers Herbrandt de Köln-Ehrenfeld. Chacune d'elles peut contenir 24 personnes et est pourvue d'un moteur de 20 chevaux (fig. 6, 7 et 8); le moteur a 12 pôles et tourne à la vitesse de 400 tours par minute.

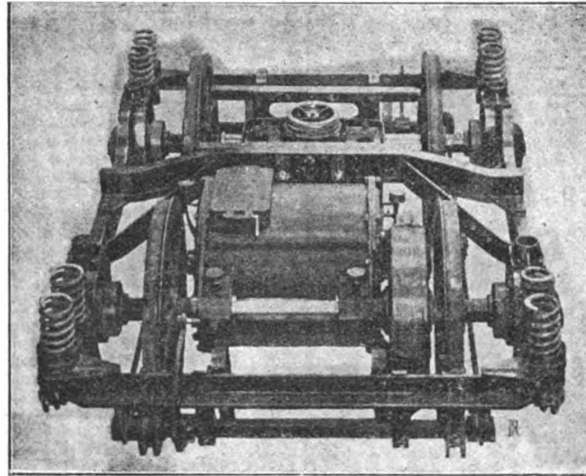


Fig. 7. — Vue en bout d'un truck.

Un engrenage simple réduit la vitesse dans le rapport de 1 : 4.

La vitesse normale de marche est de 15 km à l'heure.

Sur le toit de la voiture se trouvent deux bras de trôlet placés l'un derrière l'autre à une distance de 1 m environ.

Les moteurs sont enfermés dans une boîte de fonte qui les protège contre la poussière et l'humidité. Le courant engendré dans l'induit (rotor) est amené par 3 bagues au rhéostat régulateur. Pour pouvoir au besoin vérifier l'état du moteur on a ménagé, à la partie supérieure de la boîte de fonte une ouverture que peut fermer hermétiquement un couvercle approprié.

Chaque plateforme est munie d'un appareil de mise en marche et de réglage de la vitesse; à la droite du conducteur se trouve la poignée du frein à main : à gauche, le volant de manœuvre du rhéostat.

En outre, un interrupteur inverseur spécial sert à couper le courant inducteur ou à renverser la marche du moteur.

Comme nous l'avons déjà fait remarquer le wattman n'a aucune difficulté à maintenir la vitesse constante . il n'a qu'à placer le volant de manœuvre dans la position correspondant à la vitesse désirée sans s'inquiéter des montées ni des descentes.

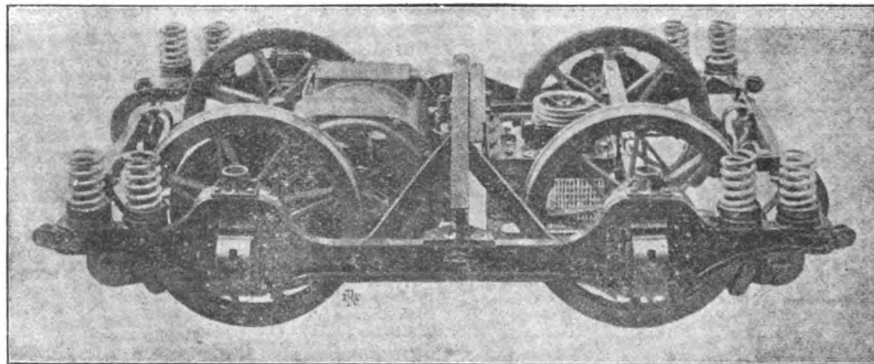


Fig. 8. — Vue latérale d un truck.

Dans certains cas, il peut être désirable de pouvoir hors ville marcher à des vitesses beaucoup plus élevées que la vitesse de mar-

che normale dans les lieux fréquentés. On obtient assez simplement ce résultat en disposant les enroulements du moteur de façon à pouvoir faire varier le nombre des pôles inducteurs.

Si l'importance de l'installation le légitimait, on pourrait également prévoir deux réseaux, l'un urbain, l'autre extra-urbain, alimentés à des fréquences différentes.

Pour gravir les pentes raides de peu d'étendue, on peut utiliser un couplage spécial du bobinage qui, en renforçant la densité du champ accroît la puissance du moteur.

Le même effet peut être obtenu en élevant la tension du courant à l'aide d'un transformateur porté par la voiture elle-même.

Si l'on veut éventuellement franchir de tels passages avec un courant moins intense, il suffit de réduire la vitesse du moteur, soit par un couplage spécial des bobines de l'induit, soit en abaissant la tension.

Les premiers essais du tramway de Lugano eurent lieu en décembre 1895 et les résultats furent des plus satisfaisants.

Bien que la terre soit utilisée comme troisième conducteur, on n'a plus à redouter la destruction électrolytique des canalisations d'eau ou de gaz. Quant aux perturbations téléphoniques, qu'on pouvait craindre, on a reconnu que tout effet d'influence pouvait être écarté en utilisant un second fil métallique isolé pour compléter le circuit téléphonique.

On a de plus constaté, lors des essais que les pentes de 6 pour 100 peuvent être franchies même avec une surcharge, sans avoir recours aux dispositifs dont nous avons parlé précédemment.

Ces résultats permettent de conclure que la traction électrique par courants polyphasés peut dès à présent être considérée comme une solution pratique pour les lignes de chemins de fer secondaires.

Nous tenons en terminant, à remercier MM. Brown et Nizzola de l'obligeance qu'ils ont mise à nous communiquer les renseignements relatifs à cette intéressante question.

J. L. Routin.

RECHERCHES SUR L'AIMANTATION DE LA MAGNÉTITE CRISTALLISÉE

A. Expériences sur les Prismes.

I. DESCRIPTION DES CRISTAUX ÉTUDIÉS

Un grand nombre de physiciens ont étudié le magnétisme des cristaux très faiblement magnétiques ou diamagnétiques, mais on ne possède presque aucun renseignement sur l'aimantation de la magnétite cristallisée. M. H. du Bois (1) a déduit incidemment de l'étude du phénomène magnéto-optique de Kerr une valeur de l'aimantation à saturation perpendiculaire à la face de l'octaèdre, mais la méthode qu'il emploie ne peut rien apprendre sur l'aimantation en deçà de la saturation.

La magnétite compacte a été l'objet d'un plus grand nombre de recherches. Steinmetz (2) donne le tracé de quatre cycles d'aimantation qui montrent que les propriétés de cette substance sont assez analogues à celles de la fonte.

J'ai eu à ma disposition des cristaux de magnétite de six provenances différentes (3) :

1° Des octaèdres des États-Unis, de fort belle apparence, mais fissurés dans la masse.

2° Des octaèdres de Binnen dans le Valais, dont les faces très lisses et brillantes présentaient la polyédrie caractéristique de macles ; dans l'intérieur, des discontinuités apparaissaient au polissage.

3° Un cristal de magnétite cristallisée, de Suède, clivable en octaèdres, beaucoup moins attirable à l'aimant que les autres échantillons et certainement transformé partiellement en Fe^2O^3.

---

(1) H. du Bois. *Phil. Mag.*, avril 1890, p. 301.

(2) Steinmetz. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, vol. IX, p. 671, 1892.

(3) Qu'il me soit permis d'exprimer ici ma reconnaissance à MM. Friedel, Hautefeuille, Lacroix, Wallerant, qui ont bien voulu mettre à ma disposition de beaux échantillons provenant des collections de l'École des Mines, de la Sorbonne, du Collège de France et de l'École Normale Supérieure.

Je n'ai pu tirer aucun parti de ces cristaux; les suivants, au contraire, remplissaient bien les conditions requises pour des mesures précises.

4° Octaèdres du Zillerthal, dans le Tyrol. L'un d'entre eux, mesurant 2 cm de sommet en sommet, présentait des faces très régulièrement développées, un peu creuses, composées de petites facettes qui miroitaient toutes en même temps quand on faisait tourner le cristal, en l'éclairant par une source éloignée. On pouvait en conclure que l'orientation de la matière était bien uniforme dans toute son étendue. Une coupe mince, parallèle au plan des axes binaires et quaternaires, examinée au microscope polarisant, montrait une continuité très satisfaisante de la matière, interrompue seulement par de très rares et très petites inclusions étrangères.

5° et 6° Dodécaèdres des gisements classiques de Traverselle et de Brozzo, dans le Piémont. La photographie ci-jointe d'un cristal de Traverselle montre les stries parallèles à la grande diagonale du losange, qui couvrent toutes les faces du dodécaèdre et dont la régularité garantit l'uniformité de l'orientation de la matière.

Plusieurs des échantillons dont j'ai disposé étaient d'une pureté et d'une homogénité très satisfaisante dans l'étendue de fragments de plusieurs centimètres, notamment un cristal de Brozzo que je dois à M. Lacroix et sur lequel a été faite la série la plus complète des mesures.

J'ai vérifié par des coupes microscopiques la pureté des échantillons de ces derniers gisements.

2. PRINCIPE DE LA MÉTHODE DE MESURE.

Que les mesures d'aimantation soient faites par la méthode magnétométrique ou par la méthode balistique, leur principale difficulté réside dans la détermination du champ résultant du champ extérieur et du champ démagnétisant produit par le corps lui-même. On a recours, pour vaincre cette difficulté, à certaines formes particulières du corps telles que le tore, le cylindre très long par rapport à son diamètre ou l'ellipsoïde, pour lesquelles le champ démagnétisant est nul ou calculable.

Il était difficile, par suite de la petitesse des échantillons de magnétite de se placer dans ces conditions. Je me suis servi de la méthode balistique en la modifiant de façon à mesurer le champ directement, comme l'aimantation,

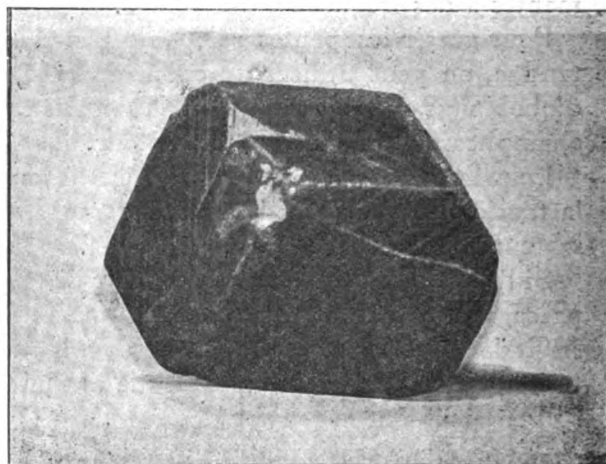


Fig. 1

par une impulsion du galvanomètre. Elle permet alors de se servir des baguettes relativement courtes que l'on peut tailler facilement dans les cristaux de magnétite par les procédés des opticiens.

Supposons que le corps aimanté et le champ magnétisant aient un plan de symétrie commun coupant normalement les lignes de force et la surface du corps et qu'il n'y ait dans le voisinage de ce plan de symétrie de variation brusque ni de la section du corps ni du champ magnétique.

Quand on traverse la surface d'un corps aimanté la composante du champ tangentielle à la surface est continue. Dans le plan de symétrie cette composante tangentielle existe seule; on pourra donc, dans ce plan, identifier, avec une certaine approximation, le champ à l'intérieur du corps avec le champ extérieur mesuré dans le voisinage immédiat de la surface. Pour faire cette mesure j'ai placé les baguettes de magnétite avec la bobine induite qui l'entoure

dans un champ magnétique variable obtenu avec des appareils qui seront décrits plus loin. Cette bobine induite est composée de deux parties de même nombre de tours de fil, la première aussi rapprochée que possible de la surface du corps et la deuxième entourant la première à une certaine distance. Les deux parties étant accouplées dans le même sens, une impulsion du galvanomètre balistique mesure le flux total traversant la bobine, c'est à dire à une correction près, l'intensité d'aimantation; puis le sens de la bobine intérieure étant renversé, l'ensemble des deux bobines est équivalent à

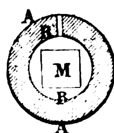


Fig. 2.

une bobine unique dont la section est l'espace annulaire compris entre les deux bobines. Dans la figure 2, A et B représentent schématiquement les parties extérieure et intérieure de la bobine et M la magnétite. La section efficace dans cette deuxième partie de l'expérience est la surface couverte de hachures. Une nouvelle impulsion donne alors le flux passant dans cette région annulaire, c'est à dire le champ dans le voisinage immédiat du corps.

J'ai employé cette méthode de la double bobine [1], comme je l'appellerai pour abréger dans des champs inférieurs à 500 unités que l'on peut aisément obtenir avec des bobines sans fer, mais elle est beaucoup plus générale et permet de produire le champ avec des électro-aimants, sans qu'il soit nécessaire de s'occuper de la loi d'aimantation des pièces en fer ou de la non-uniformité du champ. On pourrait ainsi étudier facilement les variations cycliques de l'aimantation dans des champs de plusieurs miliers d'unités, expériences qui n'ont encore été faites par aucune méthode précise.

[1] Cette méthode a été employée par Ewing pour l'évaluation du champ dans les expériences d'aimantation par la méthode de l'isthme, mais les circonstances dans lesquelles il l'a appliquée empêchaient d'en faire une méthode de précision. — *Phil. Trans.*, 1889 A., p. 221.

Mais cette méthode n'est correcte que si l'assimilation du champ dans le voisinage du corps au champ extérieur est légitime; on doit donc soumettre l'uniformité du champ à une discussion dans chaque cas particulier.

Il y a un cas assez général où l'on peut prévoir que la méthode se trouvera en défaut, c'est celui où le champ démagnétisant annule à peu de chose près le champ extérieur, comme cela arrive pour les cylindres en fer gros et courts. Le champ mesuré est alors la différence de deux champs à peu près égaux et dont les écarts de l'uniformité ne suivent en général pas la même loi et peuvent prendre une valeur prépondérante par rapport au champ résultant.

On peut porter remède à cet inconvénient en prolongeant les cylindres courts sur lesquels on opère par des pièces de fer placées symétriquement aux deux extrémités, dont l'effet est de diminuer le champ démagnétisant ou même de changer son signe de sorte que le champ résultant est une somme au lieu d'être une différence.

Quand le corps présente une cavité convenable, s'il est sous forme de tube parallèle à la direction du champ par exemple, on peut faire la mesure du champ par une bobine unique placée dans la cavité. Appliquée sous cette forme la méthode de mesure directe du champ présenterait de grandes garanties de variation suffisamment lente dans le voisinage de la surface.

3. DESCRIPTION DES APPAREILS.

A. Disposition générale. — La disposition générale des appareils est représentée schématiquement dans la figure 3. Le circuit inducteur occupe la moitié inférieure de la figure; il comprend la batterie d'accumulateur A, le commutateur C, un rhéostat R, un ampèremètre G et la bobine productrice du champ H. Le circuit induit, représenté au-dessus du circuit inducteur, comprend la dou-

ble bobine h dans laquelle on peut renverser le sens d'une des parties au moyen du commutateur γ, le galvanomètre balistique g et une boîte de résistances r pour graduer la sensibilité.

On peut introduire à volonté dans le circuit inducteur un long solénoïde E entouré d'un nombre de tours convenable e du circuit induit avec lesquels il constitue une induction mutuelle calculable et qui sert à étalonner le galvanomètre balistique. La figure contient en outre un système de bobine C_1c_1 qui a été employé dans les expériences sur les alliages de fer et d'antimoine seulement.

J'ai vérifié avec soin que les appareils étaient disposés de façon à ne pas agir les uns sur les autres. Le galvanomètre balistique est muni d'un miroir de 3,75 m de rayon qui permet de l'éloigner à 3 ou 4 m de l'ensemble des appareils placés sous la main de l'opérateur : commutateur, rhéostat, ampèremètre. Le rhéostat R est composé d'hélices de maillechort dont l'action à distance se compense. Il a été plus difficile de se débarrasser de l'influence de la forte bobine H ; même placée à une distance de 10 m dans une salle voisine elle déplaçait encore le zéro du galvanomètre de 1 mm quand on changeait le sens du courant maximum, de 7 ampères environ. Cette action a été compensée au moyen du solénoïde K.

C_1c_1 représente une induction mutuelle variable composée de deux petites bobines placées l'une sur le circuit inducteur, l'autre sur le circuit induit. Cette dernière est déplacée au moyen d'un mouvement à crémaillère de façon à obtenir au moyen de C_1c_1 une compensation exacte de l'induction mutuelle de toutes les parties des circuits autre que Hh, Ee.

Ces réglages préliminaires se font avec une grande précision en utilisant toute la sensibilité du galvanomètre par la suppression de r et en agissant sur le commutateur synchroniquement avec les oscillations de l'équipage astatique.

B. L'ampèremètre. — L'ampèremètre qui permet de suivre les variations du courant inducteur sert aussi à étalonner le galvanomètre balistique. Il est nécessaire, par conséquent, de l'étalonner lui-même en valeur absolue.

Il faut aussi qu'il puisse donner des indications presque instantanées pour permettre la lecture immédiatement avant et après la variation du courant inducteur. J'ai construit un ampèremètre magnétostatique à miroir satisfaisant à ces deux conditions.

Le champ directeur est obtenu au moyen des deux aimants en C d'un ampèremètre Deprez-Carpentier. Deux bobines portant chacune trois tours de fil de 1,5 mm de diamètre, produisent un champ perpendiculaire à celui des aimants et dévient un équipage mobile formé d'une large palette rectangulaire de mica suspendue à un fil de cocon, qui porte le miroir concave de 1 m de rayon et à la hauteur de l'axe des bobines plusieurs petits aimants. Cet équipage prend sa position d'équilibre après un très petit nombre d'oscillations très rapides et au bout de 4 secondes la lecture de la déviation sur l'échelle divisée peut se faire à 0,1 mm près.

On ne peut admettre à priori que pour cet ampèremètre les intensités sont proportionnelles aux tangentes de déviation. Je l'ai établi en étalonnant l'instrument dans toute l'étendue de l'échelle par une série de 7 électrolyses de cuivre. J'ai opéré conformément aux indications de A. Gray [1], qui a étudié méthodiquement cette opération et j'ai calculé mes expériences au moyen de son tableau donnant la valeur apparente de l'équivalent électrochimique du cuivre en fonction de la température et de la densité du courant. Le cuivre déposé dans une expérience a varié de 0,6 gr à 6 gr et était pesé au dixième de milligramme. Le temps était mesuré avec un chronomètre Fenon comparé à une horloge astronomique. La durée d'une électrolyse était généralement de 1 heure pendant laquelle le courant fourni par les accumulateurs baissait à

[1] A. Gray. *Philosophical Magazine,* nov. 1886 et mars 1888.

peine de quelques millièmes de sa valeur pour les courants faibles. Au cours de l'électrolyse faite avec le courant maximum égal à 7,111 ampères l'intensité a baissé de 2 à 3 p 100 par suite de l'échauffement des conducteurs. Le courant était renversé de temps en temps pour contrôler le zéro et la déviation était notée toutes les deux minutes. L'emploi du commutateur avait en outre l'avantage de faire porter la lecture sur une longueur double de l'échelle. Il avait l'inconvénient d'interrompre le courant pendant un temps très court ; j'évalue l'incertitude sur la mesure du temps provenant de cette cause et de l'erreur au commencement et à la fin de l'opération à une ou deux secondes sur 3 600.

Le tableau suivant réunit les résultats des électrolyses. La première ligne contient les moyennes des nombres de divisions lus sur l'échelle et corrigés de façon à les rendre proportionnels à la tangente de la déviation, la deuxième le nombre de divisions par ampère.

	I	II	III	IV	V	VI	VII
Déviation	17,03	32,46	62,83	94,68	130,05	169,14	232,68
Div.p.amp.	32,95	32,84	32,76	32,78	32,76	32,76	32,72

Les deux premiers nombres sont nécessairement plus incertains à cause de la petitesse de la déviation observée, mais les 5 derniers montrent de la manière la plus nette la proportionalité des intensités aux tangentes des déviations, et d'après leur concordance on peut estimer l'ampère-mètre étalonné au millième près en prenant le nombre 32,76.

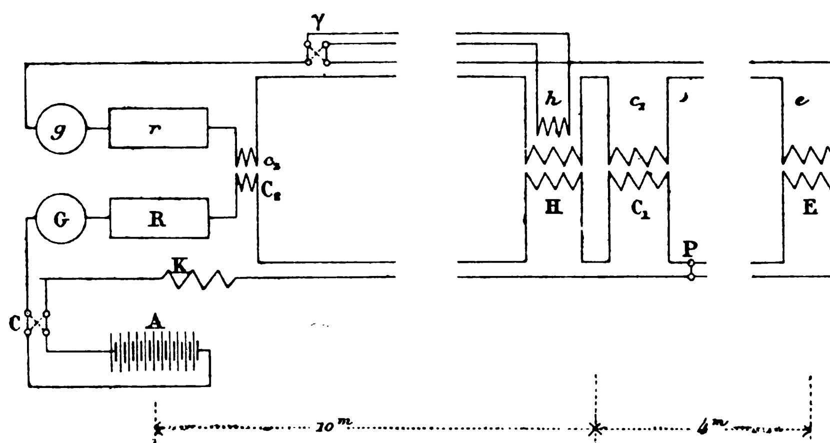


Fig. 3. — Disposition des appareils.

Cet étalonnement à été fait en décembre 1893 ; pour vérifier la conservation des aimants en C j'ai réétalonné l'ampère-mètre en juin 1894 par la méthode des éléments étalons en me servant de deux éléments Gouy vérifiés par comparaison avec un élément Latimer Clark et j'ai trouvé une déviation de 32,70 et 32,75 divisions par ampère, nombres qui concordent au-delà de la précision des expériences avec celui déduit des électrolyses.

C. Galvanomètre balistique. — Le galvanomètre dont je me suis servi est un galvanomètre astatique à aiguilles verticales de grande sensibilité que j'ai décrit ailleurs [1]. C'est le plus grand des deux instruments de ce système que j'ai construits. La constante mesurant sa sensibilité conformément aux conventions de MM. Ayrton Mather et Sumpner est S = 110 et sa résistance 146 ω. Cette grande sensibilité a été nécessaire pour mesurer les flux d'induction extrêmement faibles qui se présentent dans la mesure des champs magnétiques par la méthode de la double bobine et de l'aimantation des moins magnétiques des alliages de fer et d'antimoine.

Quand le galvanomètre est réglé à une durée d'oscillation simple de 6 secondes l'amor-

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 110, 1895.

tissement réduit l'amplitude de moitié à chaque oscillation. On sait que même dans le cas d'un fort amortissement, l'impulsion du système astatique est proportionnelle à la quantité d'electricité à la condition que la résistance d'amortissement soit proportionnelle à la vitesse.

J'ai vérifié cette proportionalité par les observations suivantes échelonnées dans la plus grande partie de l'échelle.

Variation du courant inducteur i	Impulsion en mm 1re série D	série D
0 à + 20,1	+ 74,2	+ 74,2
+ 20,1 0	— 74,5	— 74,0
0 — 20,1	— 74,4	— 74,3
20,1 0	+ 74,0	+ 73,7

Moyenne 74,16, d'où $\frac{D}{i} = 3,690$

0 à + 31,95	+ 117,9	+ 118,4
+ 31,95 0	— 117,8	— 117,4
0 — 31,95	— 118,2	— 117,4
— 31,95 0	+ 117,6	+ 116,8

Moyenne 117,68, d'où $\frac{D}{i} = 3,683$

1e série	2e série	1e série	2e série
0 + 53,3	0 + 52,8	+ 196,8	+ 194,6
+ 53,0 0	+ 52,8 0	— 196,0	— 193,7
0 — 53,0	0 — 52,8	— 196,4	— 195,0
52,8 0	— 52,8 0	+ 194,0	+ 193,6

Moyenne 195,0, d'où $\frac{D}{i} = 3,683$

Le rapport de l'impulsion à la variation du courant inducteur est donc constant à la précision des expériences près. Il suffira donc d'une seule expérience pour étalonner le galvanomètre. On peut déduire encore de ces observations que ses indications sont symétriques à $\frac{1}{430}$ près ; j'ai considéré cette vérification comme suffisante On verra d'ailleurs que toutes les mesures sont obtenues par des moyennes d'impulsions prises dans les deux sens.

D. Etalonnement du galvanomètre. — Le circuit induit ayant une résistance invariable, il suffit pour étalonner le galvanomètre de déterminer le rapport constant de l'impulsion du galvanomètre à la variation du flux de force qui traverse le circuit induit. Le solénoïde E, entouré en son milieu d'une bobine plate faisant partie du circuit induit, est traversé par le courant mesuré par l'ampèremètre étalonné et fournit ainsi un flux d'induction connu. Il suffit d'observer simultanément les variations du courant inducteur et les impulsions du galvanomètre pour connaître la constante de réduction des observations balistiques.

Le solénoïde est formé par une seule couche de fil de cuivre de 0,6 mm de diamètre enroulé sur un tube de laiton sur une longueur de 496 mm. Le diamètre de ce cylindre a été mesuré avec un pied à coulisse au milieu, et aux deux extrémités suivant deux diamètres rectangulaires :

	1er diamètre	2e diamètre
Extrémité	78,6	78,45
Milieu	78,5	78,5
Extrémité	78,55	78,45

La moyenne 78,51 mm ne doit pas être affectée d'un erreur supérieure à $\frac{1}{20}$ de mm qui entraînerait une erreur de $\frac{1}{800}$ environ sur la section du tube.

Pour déterminer le nombre de tours par cm, j'ai mesuré dans différentes régions de la bobine la longueur occupée par 200 tours :

134,1 134,3 134,2 134,2 134,2 mm

Comme vérification, j'ai mesuré de même la longueur occupée par 100 tours :

67,1 66,9 67,2 67,3 67,1 67,1

Ces deux séries montrent la régularité très satisfaisante de l'enroulement et donnent la même moyenne :

134,2 mm pour 200 tours,

valeur certainement exacte à $\frac{1}{1000}$ près.

L'épaisseur du fil avec son enveloppe isolante est donc de $\frac{134,2}{200} = 0,67$ mm.

Cette quantité doit être ajoutée au diamètre du cylindre sur lequel le fil est enroulé, ce qui porte le diamètre du solénoïde à 79,18 mm.

Le fil était recouvert d'une double couche de soie imprégnée d'un vernis à l'alcool. L'isolement entre le cylindre de laiton et le fil a été vérifié.

Je me suis servi de bobines induites entourant au milieu le solénoïde étalon. Leur nombre de tours a été choisi dans chaque série d'expériences, en rapport avec la sensibilité employée, et a varié de 1 à 1000. La force électromotrice assez élevée qui pouvait se produire dans les bobines induites nécessitait un bon isolement. Elles ont été plongées dans la paraffine chaude jusqu'à cessation presque complète du dégagement gazeux et laissées refroidir dans le bain qui les pénétrait ainsi complètement. La bobine de 1 000 tours était composée de deux parties identiques de 500 tours obtenues en enroulant deux fils simultanément. L'isolement a été vérifié en constatant que ces deux parties mises en opposition s'annulaient exactement.

Soient n le nombre de tours par centimètres.
i l'intensité du courant en ampères.
D le diamètre.
L la longueur du solénoïde.
D′ le diamètre d'une bobine qui l'entoure en son milieu.

Le champ serait dans le solénoïde supposé indéfini.

$$\frac{4\pi n i}{10} \text{ unités C.G.S.}$$

et

$$\frac{4\pi n i}{10} \times \frac{\pi D^2}{4}$$

représente le flux d'induction traversant un tour de la bobine induite.

Le champ au milieu du solénoïde de longueur finie est plus faible de :

$$\frac{4\pi n i}{10}\frac{D^2}{2L^2},$$

terme qui représente dans une première approximation le champ de sens contraire au champ du solénoïde indéfini, attribuable aux couches magnétiques fictives aux deux extrémités, par lesquelles on peut remplacer le solénoïde quant à son action à distance.

Ce champ agit dans toute l'étendue de la bobine induite de diamètre D′ et correspond à un flux négatif :

$$\frac{4\pi n i}{10}\frac{D^2}{2L^2} \times \frac{\pi D'^2}{4}.$$

Le flux total traversant 1 tour de fil induit est donc :

$$\frac{\pi^2 n i}{10} D^2 \left(1 - \frac{D'^2}{2L^2}\right).$$

Le terme correctif $\frac{D'^2}{2L^2}$ a toujours été inférieur à $\frac{1}{50}$; on se rend compte facilement qu'il est exact à $\frac{1}{20}$ près [1] de sa valeur, il introduit donc une incertitude de $\frac{1}{1000}$ environ sur le flux total.

Supposons que toutes les erreurs systématiques dans l'étalonnement des instruments, dont nous avons reconnu la possibilité, s'ajoutent :

---

[1] La composante du champ parallèle à l'axe de la bobine, en un point du plan médian, est donnée par

$$X = 4\pi n i \left[\frac{L}{\sqrt{D^2 + L^2}} + \frac{3}{4}\frac{L^2 D^2 Y^2}{(L^2 + D^2)^{\frac{5}{2}}}\right],$$

en appe.ant Y la distance du point considéré à l'axe de la bobine et en supprimant les puissances de Y à partir de la quatrième (Mascart et Joubert; Leçons sur l'Electricité et le Magnétisme, 1re éd., t. II, p. 106).

On en déduit pour le champ attribuable aux couches magnétiques fictives aux deux extrémités de la bobine :

$$\pi n i \frac{D^2}{2L^2}\left(1 - \frac{3}{4}\frac{D^2}{L^2} - \frac{3}{2}\frac{4Y^2}{L^2}\right),$$

en considérant D comme un infiniment petit du même ordre que Y.

En tenant compte de la variation de ce champ avec Y dans l'étendue de la bobine induite, on trouve pour le terme correctif du flux :

$$\frac{\pi D'^2}{4} \times 4\pi n i \frac{D^2}{2L^2}\left(1 - \frac{3}{4}\frac{D^2}{L^2} - \frac{3}{4}\frac{D'^2}{L^2}\right),$$

or comme

$$\frac{D}{L} = 0{,}16,$$

$$\frac{D'}{L} = 0{,}19,$$

on a :

$$\frac{\pi D'^2}{4} \times 4\pi n i \frac{D^2}{2L^2}(1 - 0{,}046),$$

ce qui montre que le terme correctif est exact environ à $\frac{1}{20}$ près.

Erreur relative sur la section de la bobine étalon		0,0012
» »	sur le nombre de tours par cm..	0,001
» »	de la correction de longueur finie du solénoïde...............	0,001
» »	sur l'étalonnement de l'ampère-mètre.....................	0,001
		0,0042

L'erreur totale est inférieure à $\frac{1}{200}$; c'est avec cette précision que l'on doit considérer l'ensemble des expériences rapporté à des mesures absolues. La précision individuelle des observations dépend encore de la lecture des impulsions au moyen desquelles on étalonne le galvanomètre balistique et de celle de la mesure proprement dite. Cette précision a toujours été très grande ainsi qu'il résultera des exemples donnés plus loin.

Le galvanomètre balistique a été étalonné un grand nombre de fois dans la même série d'observations au moyen de quatre impulsions dont j'ai pris la moyenne. Les nombres suivants qui représentent le rapport de l'impulsion observée au courant inducteur montrent la constance de la sensibilité.

11 mai 1894	1,461
»	1,457
12 »	1,467
»	1,461
»	1,463
»	1,463
»	1,458
13 mai 1894	1,462
»	1,469
»	1,456
»	1,459
»	1,453
»	1,460

J'avais supposé, au début, ce contrôle fréquent nécessaire à cause des variations possibles du système magnétique et du champ terrestre ; je me suis aperçu dans la suite que les variations de sensibilité appréciable étaient toujours dues à des variations de la résistance du circuit induit avec la température et que l'on pouvait sans inconvénient espacer davantage les étalonnements.

E. Production du champ magnétique, bobine induite, disposition de la magnétite. — Le champ magnétique est obtenu à l'aide d'une bobine de fil de cuivre de 2 mm, ayant 70 mm de diamètre intérieur, 164 mm de diamètre extérieur et 280 mm de longueur. Le champ au centre de la bobine est de 71,5 unités c. g. s. pour un courant de 1 ampère ; elle supporte sans s'échauffer outre mesure un courant de 7 ampères et permet par conséquent d'atteindre un champ de 500 unités. Elle est représentée dans la figure 22 qui se rapporte aux expériences sur les alliages de fer et d'antimoine.

Dans les expériences sur la magnétite son axe est dirigé perpendiculairement au méridien magnétique pour éliminer l'influence du champ terrestre ; elle est placée à quatre mètres de distance du solénoïde d'étalonnement et perpendiculairement à son axe, de sorte que la possibilité d'une action mutuelle est exclue.

Au milieu de la bobine productrice du champ se trouve la magnétite M entourée de la double bobine et prolongée magnétiquement par des cylindres de fer F F' (fig. 4).

J'ai construit deux doubles bobines induites, l'une composée de deux parties de 190 tours chacune qui a servi dans une seule des séries d'expériences que j'ai conservées ; l'autre de deux parties de 500 tours avec laquelle j'ai fait la plupart des expériences. Je ne décrirai que cette dernière qui répond plus exactement au but proposé.

Le fil de 0,04 mm recouvert de soie, est enroulé directement sans carcasse, sur une tige de laiton dont la section est un carré de 2 mm de côté à angles légèrement arrondis. Cette tige est fixée sur l'axe d'un compteur de tours que l'on fait mouvoir à la main pour procéder à l'enroulement. Le nombre de tours était ainsi compté automatiquement. La bobine est limitée latéralement par deux petites pièces d'ébonite ε calées sur l'axe qui déterminent la longueur de la bobine par leur écartement égal à 5 mm. Le diamètre extérieur est de 8 mm. Après chaque couche, le fil est collé avec un peu de paraffine fondue dont on enlevait l'excès avec du papier bu-

vard. La bobine terminée a été détachée facilement en chauffant légèrement la tige de laiton sur laquelle elle était enroulée.

La méthode de la double bobine suppose essentiellement que le flux passant à l'intérieur de la plus petite des deux bobines accouplées en sens contraire produise une force électromotrice totale rigoureusement nulle ce qui ne peut avoir lieu que si le nombre de tours des deux parties est réellement le même. La plus petite différence entre ces nombres de tours aurait même complètement faussé les résultats à cause de la grandeur prépondérante du flux passant à l'intérieur des deux bobines par rapport à celui qui traverse l'espace annulaire. Il était donc nécessaire de s'assurer avec le plus grand soin qu'un court circuit ou un défaut d'isolement général n'avait pas altéré le nombre de tours effectif.

J'y suis arrivé par la méthode suivante : les deux parties de la bobine étant accouplées en sens contraire dans le circuit du galvano-

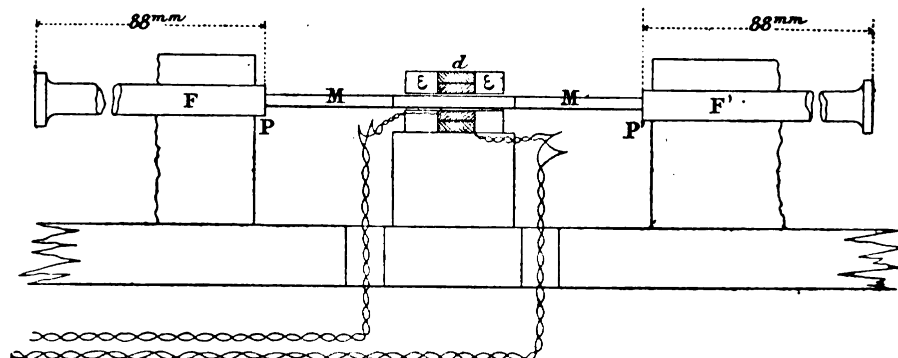


Fig. 4. — Magnétite et bobine induite.

mètre balistique (fig. 5) on retire brusquement un fil d'acier A B fortement aimanté de 400 mm de long et de 1 mm de diamètre préalablement placé suivant l'axe de la bobine. Si les nombres de tours des deux parties sont égaux on doit observer une impulsion très faible et très peu différente de celle qu'on provoque en enlevant le fil de la position A' B'. Cette impulsion mesure en effet uniquement le champ magnétique créé par les pôles A B ou A' B' dans l'espace annulaire. J'ai observé dans les deux cas des déviations de même sens sensiblement égales à $\frac{1}{2}$ mm. En réduisant la sensibilité du galvanomètre à $\frac{1}{30}$ de sa valeur et en accouplant les deux parties de la bobine dans le même sens, on a une impulsion de 32 mm qui équivaut à une impulsion de 960 mm en conservant la première sensibilité Une différence de 1 tour entre les deux parties se serait par conséquent manifestée par une impulsion de 1 mm. Les deux parties de la bobine étaient donc identiques et l'isolement satisfaisant. Cette vérification s'était faite avec la même netteté sur une première bobine identique à celle-ci et détruite accidentellement.

Il est nécessaire pour le calcul des expériences de connaître exactement la somme et la différence des aires des deux parties de la bobine induite. Je me suis servi pour leur détermination de la méthode indiquée par M. P. Curie (¹) qui consiste à opposer la bobine à mesurer, placée dans un champ connu, à une bobine induite mesurable dont on fait varier le nombre de tours jusqu'à ce que l'impulsion du galvanomètre balistique placé sur leur circuit s'annule. Le champ connu est fourni par la bobine magnétisante pour laquelle le rapport de l'intensité du courant qui la traverse au champ produit a été déterminée avec une grande précision ainsi qu'il sera exposé à propos des alliages de fer et d'antimoine. L'induction calculable opposée à celle

(¹) P. Curie. *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. V, p. 289, 1895.

à mesurer est donnée par le solénoïde employé pour l'étalonnement du galvanomètre, entouré d'une bobine induite d'un nombre de tours convenable. On ne trouve pas en général un nombre de tours entier, pour lequel les deux inductions mutuelles se font équilibre, mais on détermine par interpolation, au moyen des impulsions du galvanomètre balistique, le nombre de tours et de fractions de tours qui équivaut à l'aire à mesurer. J'ai trouvé ainsi que la somme S des aires des deux parties de la bobine induite fait équi-

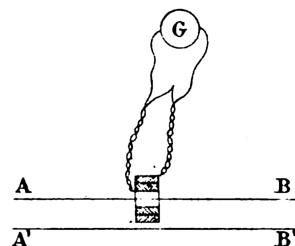


Fig. 5.

libre à 17,54 et leur différence D à 7,907 tours de fil entourant le solénoïde D'où :

$$S = 222,6 \text{ cm}^2$$
$$D = 100,23 \text{ cm}^2.$$

Ces mesures ont été faites le 17 mars 1895 ; reprises le 20 juillet, après les expériences elles ont donné :

$$S = 222,9 \text{ cm}^2$$
$$D = 100,20.$$

L'aire de cette bobine minuscule s'est donc rigoureusement conservée.

Proposons-nous d'évaluer l'erreur commise en mesurant le champ dans l'espace annulaire entre les deux bobines au lieu de la mesurer dans l'axe à l'endroit où se trouve la magnétite.

Par suite de la grandeur de la section des cylindres F F' (fig. 4) de fer, le champ créé par l'ensemble des corps aimantés au milieu du barreau de magnétite est de même sens que le champ de la bobine. Ce champ non uniforme qui s'ajoute ainsi au champ sensiblement uniforme de la bobine magnétisante n'a pas dépassé, dans les cas les plus défavorables, 22 pour 100 du champ total.

Pour évaluer son degré de non-uniformité nous pouvons le supposer produit dans une première approximation par deux pôles P et P' (fig. 4) situés au point où la magnétite touche les prolongements en fer. Si l'on représente alors le champ au milieu M (fig. 6) de PP' par 1, le champ en un point excentrique N du plan de symétrie des appareils est représenté par :

$$\cos^2 \text{MPN} \quad \text{u} \quad 1 - \frac{3}{2}\left(\frac{\text{MN}}{\text{MP}}\right)^2.$$

Dans le premier appareil, dont une seule série d'expériences a été conservée, on avait

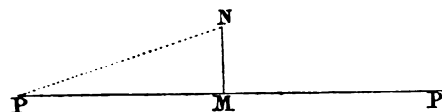


Fig. 6.

Le rayon moyen de l'espace annulaire entre les deux bobines :

$$\text{MN} < 4 \text{ mm}$$

et :

$$\text{MP} = 22 \text{ mm},$$

d'où :

$$\cos^2 \text{NPM} = 1 - 0,054,$$

ce qui conduit à une non-uniformité du champ total inférieure à 1,2 pour 100.

Dans le deuxième appareil

$$\text{MN} < 3 \text{ mm}$$

et :

$$\text{MP} > 24,5 \text{ mm},$$

d'où :

$$\cos^2 \text{MPN} > 1 - 0,022$$

et une non-uniformité du champ total inférieure à 0,5 pour 100.

Il y a lieu de remarquer que pour des valeurs croissantes du champ extérieur la partie non uniforme a une importance relative de plus en plus faible par suite de l'approche de la saturation des substances magnétiques et que l'erreur toujours très petite qui en résulte cesse totalement d'être appréciable dans les champs élevés.

Un cas a été excepté de la présente discussion ; c'est celui où le courant dans la bobine étant nul le champ se réduit à celui qui est produit par l'aimantation résiduelle des cylindres de fer et de la magnétite. Dans ces expériences il a toujours eu une valeur tellement faible et était mesuré par une quantité si petite sur l'échelle du galvanomètre balistique qu'il eût été illusoire de s'occuper de sa non-uniformité.

Connaissant l'aire de la partie centrale de la bobine et celle de l'espace annulaire, j'ai pu faire une vérification expérimentale du degré d'uniformité du champ en déterminant par une série d'impulsions du galvanomètre le rapport apparent de ces aires dans le champ non-uniforme des cylindres de fer FF', la magnétite étant enlevée. J'ai rapproché ces cylindres à 20 mm du centre au lieu de 24,5, ce qui revient à multiplier par 1,5 les écarts de l'uniformité qui croissent en raison inverse du carré de cette distance, et j'ai donné au courant inducteur une valeur (1 ampère) pour laquelle l'importance relative du champ non-uniforme est grande. L'aire de la partie centrale de la bobine est : $\frac{1}{2}$(S-D); j'ai trouvé, au lieu du rapport $\frac{1}{2}\frac{S-D}{D} = 0{,}6135$ déduit de la mesure des aires, le nombre 0,6165 qui en diffère de 0,5 pour 100 dans le sens voulu.

Le barreau de magnétite n'était jamais composé d'une seule pièce, mais d'une partie centrale assez longue pour placer les joints bien au dehors de la bobine et de prolongements symétriques taillés dans le même cristal suivant la même orientation. Les surfaces terminales, dressées avec soin, assuraient une continuité magnétique suffisante. Ewing et Low (¹) ont montré en effet, que des solutions de continuité analogues dans une barre de fer sont équivalentes à des lames d'air de 0,03 mm d'épaisseur. Nous pouvons donc admettre que la couche double de magnétisme que l'on peut imaginer sur les faces d'un pareil joint n'exerce aucune action sensible au milieu de la bobine et qu'il est légitime, pour l'évaluation de la non-uniformité du champ, de supposer les pôles rejetés aux points où la magnétite touche les prolongements en fer.

(¹) Ewing and Low, *Phil. Mag.* [5], 26, p. 274, 1888.

4. MARCHE ET CALCUL D'UNE EXPÉRIENCE

La marche d'une série d'observations est la suivante : Le barreau de magnétite étant en place dans la double bobine et celle-ci disposée pour la mesure de l'aimantation on choisit la résistance *r* de façon à donner au circuit induit une sensibilité convenable, puis l'on procède à l'étalonnement en introduisant dans le circuit inducteur le solénoïde entouré d'une bobine induite choisie de façon à utiliser toute l'échelle.

On fait ensuite la mesure d'un petit nombre de cycles d'aimantation d'amplitudes croissantes et on recommence l'étalonnement du galvanomètre. Pour mesurer les champs correspondants on renverse le sens d'une des moitiés de la double bobine et on modifie la résistance *r* de façon à adapter la sensibilité de l'appareil à la nouvelle grandeur du flux et on recommence une série de mesures identiques en passant par les mêmes intensités de courant.

Ainsi, pour déterminer un point d'une courbe d'aimantation, on détermine successivement le champ et l'aimantation. Le courant inducteur joue le rôle d'une variable auxiliaire dont on fait dépendre les deux quantités à mesurer. L'indication de l'ampèremètre sert à constater que les deux opérations ont été faites exactement dans les mêmes conditions. En réalité, quand les courants sont un peu forts, l'échauffement du circuit inducteur a pour conséquence un faible abaissement de l'intensité. On ramène les deux mesures à des conditions identiques par une correction facile.

Soient :

S la somme ;

D la différence des aires des deux parties de la bobine induite ;

n son nombre de tours total ;

K et K' les constantes que donne l'étalon-

nement du galvanomètre balistique pour les deux sensibilités employées dans la mesure de l'aimantation et dans celle du champ ;

δ, δ' les impulsions observées pour une même variation du courant inducteur, les deux parties de la bobine induite étant accouplées en sens contraire et dans le même sens ;

σ la section de la matière magnétique ;

ΔI la variation de l'intensité d'aimantation ;

ΔH la variation du champ ;

on a :

$$D.\Delta H = K'\delta' \qquad (1)$$

$$S.\Delta H + 4\pi n \sigma \Delta I = K\delta. \qquad (2)$$

L'équation (1) donne ΔH et par conséquent le terme correctif $S\,\Delta H$ de (2), dont on tire ΔI.

La section des barreaux était connue avec une grande précision par des mesures au sphéromètre.

Pour un certain nombre d'échantillons j'ai déterminé seulement le lieu des sommets des cycles d'aimantation pour des variations du champ d'amplitude croissante. Ces cycles ont la forme générale qu'indique la figure 7. Il faut partir d'un point du cycle tel que α et pour cela faire décrire à la matière au préalable deux ou trois fois le cycle complet en renversant le sens du courant. Pour les mesures on continue à décrire le cycle dans le même sens. Je n'ai pas constaté, pour la magnétite cristallisée, d'influence de l'histoire magnétique antérieure. Il suffisait par conséquent de s'assurer qu'il n'y avait pas d'aimantation résiduelle notable.

Par le jeu des résistances R on amène l'intensité du courant inducteur à la valeur i_m correspondant au champ maximum du cycle et on fait les mesures suivantes, tant pour l'aimantation que pour le champ :

			Impulsion
Fermeture du courant i_m	dans le sens +		δ_1
Rupture	»	»	δ_2
Fermeture	»	» dans le sens —	δ_3
Rupture	»	»	δ_4

Quand le champ et la matière ont des propriétés identiques dans les deux sens, on a : $\delta_1 = \delta_3$, $\delta_2 = \delta_4$. Ces impulsions avaient été trouvées différentes avant qu'on eût réglé l'axe de la bobine perpendiculairement au méridien magnétique. Dans la figure 7 qui représente l'intensité d'aimantation dans un cycle en fonction du courant inducteur, δ_1 est la

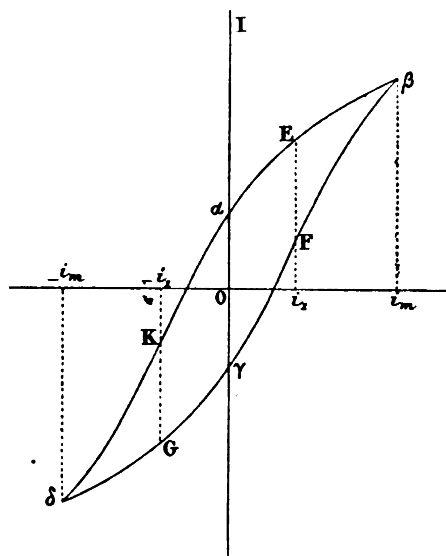


Fig. 7.

mesure de la différence des ordonnées des points γ et β, δ_2 celle de la différence des ordonnées des points β et α.

$\frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$ mesure donc l'aimantation totale et $\frac{\delta_1 - \delta_2}{2}$ l'aimantation résiduelle.

La même remarque s'applique aux impulsions mesurant les variations du champ.

J'ai déterminé complètement le tracé d'une série de cycles sur 4 barreaux de magnétite. Pour avoir des points intermédiaires entre les sommets du cycle et l'axe des ordonnées j'ai décrit le cycle en 8 temps par la série d'observations suivantes

Variation du courant inducteur			Impulsion
o	à	$+ i_1$	δ_1
$+ i_1$		$+ i_m$	δ_2
$+ i_m$		$+ i_1$	δ_3
$+ i_1$		o	δ_4
o		$- i_1$	δ_5
$- i_1$		$- i_m$	δ_6
$- i_m$		$- i_1$	δ_7
$- i_1$		o	δ_8

On a encore $\delta_1 = -\delta_5$, $\delta_2 = -\delta_6$, $\delta_3 = -\delta_7$, $\delta_4 = -\delta_8$ pour un champ et une matière à propriétés symétriques et l'on déduit facilement des δ les ordonnées des points E F G H d'abscisse $+ i_1$ et $- i_1$.

On en tirera aussi les valeurs de l'aimantation totale et de l'aimantation résiduelle, J'ai répété en général trois fois les opérations pour des valeurs différentes i_1 i_2 i_3, intermédiaires entre o et i_m. Le cycle est alors déterminé suffisamment par 16 points en comptant les sommets et les points sur l'axe des ordonnées.

Cette manière de procéder évite l'accumulation des erreurs d'observation que l'on aurait pu craindre si on avait décrit le cycle en autant de pas successifs que l'on voulait avoir de points. Voici un exemple des observations sur un cycle :

Magnétite du Tyrol, aimantation parallèle à l'axe binaire :

	Aimantation totale	Aimantation résiduelle
Détermination directe	56,0 divisions	14,8 divisions
1er cycle	55,5	14,8
2e »	56,1	15,0
3e »	55,6	14,0

Ce mode opératoire a été employé pour les alliages de fer et d'antimoine auxquels j'emprunte les exemples suivants :

Alliage 8 cycle 3 :

	Aimantation totale	Aimantation résiduelle
Determination directe	144,0 divisions	21,9 divisions
1er cycle	142,5	21,5
2e »	142,7	21,2
3e »	143,2	21,2
4e »	143,0	21,4

Alliage 10 cycle 5 :

Détermination directe	103,8	14,4
1er cycle	103,5	14,0
2e »	103,5	14,1
3e »	103,6	14,9

Je ferai remarquer le bon contrôle de la précision des observations que donne la concordance des différentes valeurs de l'aimantation résiduelle dont chacune est la somme algébrique de deux ou quatre impulsions beaucoup plus grandes et de signes différents.

Les nombres de ces tableaux sont déduits des moyennes d'impulsions identiques observées du côté positif et négatif de l'échelle. Quand ces deux mesures ne concordaient pas à un mm près, l'observation était rejetée.

Ce procédé a l'inconvénient d'être assez long. Le nombre des mesures assez considérable que je viens d'énumérer est augmenté par les mesures d'étalonnement et doublé par la nécessité d'opérer de même pour le champ. Il n'est pas toujours nécessaire d'y recourir, la précision des lectures a été telle que l'on a pu abréger en décrivant le cycle en une seule fois avec autant d'arrêts qu'il y a de points à déterminer. Le cycle complet est alors décrit par 16 impulsions égales 2 à 2. Le contrôle des expériences est donné suffisamment par la concordance de la détermination directe de l'aimantation résiduelle et la valeur qui résulte de la mesure du cycle comme somme algébrique de 8 impulsions.

Je réunis dans le tableau ci-dessous les contrôles correspondant à la mesure de cinq cycles de la magnétite du Tyrol aimantée parallèlement à l'axe ternaire : ces nombres justifient ce procédé plus rapide de mesure.

	Aimant. totale	A. résiduelle	Champ total	Champ résiduel
I. Détermination directe	33,6	9,7	22,2	0,8
Cycle	33,8	9,7	22,3	0,7
II. Détermination directe	65,8	21,2	39,4	1,2
Cycle	65,0	20,2	38,9	1,3
III. Détermination directe	118,1	34,5	80,3	2,6
Cycle	117,6	34,5	80,0	2,2
IV. Détermination directe	201,8	46,0	175,2	4,6
Cycle	200,3	46,2	174,2	4,4
	Sensibilité diminuée			
V. Détermination directe	190,8	32,9	142,4	2,9
Cycle	189,9	33,4	142,4	2,6

5. Influence de l'aimantation anormale

On sait depuis longtemps que l'aimantation que prend un barreau de fer ou d'acier dans un champ magnétique et son aimantation résiduelle ne dépendent pas seulement de la grandeur de ce champ mais encore de la manière plus ou moins brusque dont on l'éta-

blit ou le supprime (¹). L'aimantation résiduelle peut même quelquefois être de sens contraire à l'aimantation totale. C'est plus particulièrement à ce phénomène qu'on a donné le nom d'aimantation anomale. G. Wiedemann a montré que les anomalies dans l'aimantation provenaient de deux causes :

1° Les courants de Foucault dans la matière magnétique au moment de la fermeture et de la rupture du courant.

2° Les oscillations électriques dans la bobine.

J'ai rencontré dans les expériences sur la magnétite ce dernier genre d'anomalie qui n'est pas considéré comme une cause d'erreur habituelle dans les mesures d'aimantation. Des expériences sur un barreau de section rectangulaire de 3,217 × 3,593 mm² avaient été parfaitement régulières. Une même variation du courant inducteur donnait toujours une même variation du flux d'induction, que celle-ci fut mesurée par une ou plusieurs impulsions, comme le montrent les nombres page 501 qui se rapportent à cet échantillon. Avec un barreau du même cristal de 1,702 × 1,700 mm² de section il n'en est plus de même ainsi qu'il résulte des nombres suivants :

Variations du courant en divisions de l'échelle			Impulsions en divisions de l'échelle
de 0	à + 26,1		22,8
+ 26,1	+ 60,9		36,5
		Somme	59,3
+ 60,9	+ 26,1		19,2
+ 26,1	0		22,6
		Somme	41,8

Tandis que si l'on fait varier en une seule fois le courant de zéro au maximum et du maximum à zéro, on a

0	à 60,9	56,0
60,9	0	45,4

L'aimantation totale que l'on déduirait de ces nombres est sensiblement la même dans les deux cas, elle est mesurée par :

50,5 et 50,7 divisions.

Pour l'aimantation résiduelle on a, au contraire, dans le premier cas, 8,8, et dans le deuxième 5,3 divisions.

J'ai d'abord soupçonné des mouvements de la magnétite au moment de l'aimantation et j'ai collé les barreaux avec du baume de Canada, rien n'a été changé.

Je n'ai pas modifié davantage ces effets en enlevant 1° les prolongements magnétiques en fer, 2° les prolongements en magnétite.

J'ai ensuite remplacé la magnétite par un fil de fer de 1 mm de diamètre et observé les mêmes anomalies, quelle que fut sa longueur.

Les courants de Foucault dans la masse de la substance magnétique constituent une série de solénoïdes coaxiaux qui ont pour effet de ralentir les variations du champ magnétique dans leur intérieur, et qui tendent à produire une aimantation de sens inverse dans la couche superficielle. Cette aimantation superficielle inverse s'observe d'autant plus facilement que le barreau est plus gros et plus court. Plus il est gros plus les courants sont intenses et plus il est court plus l'action extérieure des pôles des solénoïdes formés par les courants de Foucault est forte. Cette action est nulle pour un cylindre indéfini ou pour le tore dans l'expérience d'aimantation de Rowland.

Ces caractères montrent que nous n'avons pas affaire à ce genre d'anomalie puisque les effets sont d'autant plus grands que les barreaux sont de section plus faible, et que la longueur n'intervient pas.

S'il se produit des oscillations dans la bobine les variations relativement rapides du champ magnétique qui en sont la conséquence ne doivent pénétrer que dans la couche superficielle du corps. Elle fait écran magnétique pour les parties profondes par les courants de Foucault très rapides dont elle est le siège. La couche intéressée par les oscillations doit donc prendre une importance

(¹) Voir sur cette question :
Von Waltennhofen, *Wien. Ber.*, t. 48, 2 Abth, p. 564, 1863 ;
Righi, *J. de Phys.*, t. X, p. 483, 1881 ;
G. Wiedemann. *Wied. Ann.*, t. 37, p. 620, 1887.

relative d'autant plus grande que le barreau est moins gros et les irrégularités doivent se manifester facilement dans une substance peu conductrice de l'électricité, comme la magnétite, où le champ alternatif pénètre plus profondément.

La couche intéressée par les oscillations doit aussi être d'autant plus profonde que les oscillations sont plus lentes, on doit donc augmenter les anomalies en mettant un condensateur en dérivation sur les bobines.

J'ai fait l'expérience avec $\frac{1}{3}$ microfarad; j'ai réussi ainsi à faire apparaître les anomalies pour le barreau de $3{,}217 \times 3{,}593$ mm² de section qui ne les présentait pas quand il n'y avait pas de condensateur, comme le montre le tableau :

	Impulsions	
	sans condensateur	avec condensateur
Fermeture en 1 temps	49,4	43,5
Rupture »	31,3	37,0
Fermeture en 2 temps	50,5	46,7
Rupture »	30,4	34,7

Les anomalies ont bien le caractère des précédentes, conservation de la valeur de l'aimantation totale et altération de l'aimantation résiduelle.

J'ai pu éliminer cette anomalie, qui semblait devoir rendre impossible toute détermination des cycles d'aimantation, en entourant la subtance magnétique et la double bobine induite d'un tube de cuivre rouge de 7 cm de diamètre, de 1 mm d'épaisseur et de 20 cm de longueur, placé à l'intérieur de la bobine productrice du champ. Dans ces conditions le tube de cuivre fait écran à l'intérieur pour les variations rapides du champ, et celui-ci s'établit graduellement, sans oscillations. L'anomalie disparait alors complètement comme le montrent les expériences page 499. Le tube de cuivre a été conservé dans toutes les expériences ultérieures et les résultats n'ont cessé d'être corrects.

6. DÉTAILS DES EXPÉRIENCES. — RÉSULTATS

J'ai déterminé les intensités d'aimantation pour une série de barreaux de magnétite ayant diverses orientations par rapport aux axes cristallographiques et j'ai constaté que les résultats dépendaient de cette orientation.

La magnétite n'est donc pas isotrope au point de vue magnétique, résultat assez surprenant si l'on considère que les corps cristallisés dans le système cubique sont isotropes au point de vue optique.

Mes expériences ont porté sur des barreaux dirigés suivants les axes ternaire, binaire et quaternaire.

a. Magnétite de Brozzo. — Elle m'a donné les résultats les plus complets au point de vue de vue de l'orientation, car j'ai pu tirer d'un même cristal des prismes parallèles aux 3 directions.

J'ai mesuré sur chaque barreau l'aimantation totale et l'aimantation résiduelle. Les résultats sont contenus dans les tableaux suivants :

AXE TERNAIRE, COURBE T.

Point	Champs cgs	Aimantation totale cgs	Aimantation résiduelle cgs
1	22,9	172,4	49,6
2	43,3	263,8	61,0
3	79,1	347,0	70,5
4	146,2	399,0	75,9
5	239,3	414,3	75,6
6	326,8	418,2	75,6
7	436,0	422,2	75,3

AXE BINAIRE, COURBE B.

Point	Champs cgs	Aimantation totale cgs	Aimantation résiduelle cgs
1	19,7	162,2	40,5
2	38,4	249,3	50,8
3	75,0	323,0	58,6
4	144,5	376,6	63,4
5	238,1	392,8	63,7
6	316,5	403,8	64,4
7	499,6	410,1	65,6

AXE QUATERNAIRE, COURBE Q.

Point	Champs cgs	Aimantation totale cgs	Aimantation résiduelle cgs
1	18,1	174,1	61,6
2	37,8	233,4	74,0
3	78,4	271,3	83,6
4	151,9	307,5	89,3
5	251,7	340,6	89,7
6	342,4	365,2	90,6
7	435,6	387,8	89,3

Avec les nombres de ce tableau j'ai construit les courbes de la figure 8.

Les courbe T, B et Q représentent l'intensité

d'aimantation en fonction du champ pour les directions de l'axe ternaire, binaire et quaternaire. Dans la plus grande étendue de la courbe, l'aimantation dans la direction de de l'axe ternaire est maxima ; elle est très voisine de l'aimantation suivant l'axe binaire, tandis que l'aimantation suivant l'axe quaternaire est nettement inférieure ; les trois courbes ont leur maximum d'écartement pour un champ voisin de 150 unités pour lequel les ordonnés sont à peu près comme

15 : 18 : 19.

Elles se coupent dans le voisinage de $H = 16$ et se placent dans l'ordre inverse entre cette valeur et de H et zéro. Nous verrons que cette particularité ne se retrouve pas dans tous les échantillons.

Les deux courbes T et B ont la forme habituelle des courbes d'aimantation des métaux fortement magnétiques. La courbe Q au contraire s'en distingue en ce qu'au lieu d'une asymptote horizontale comme les deux autres elle semble avoir une asymptote inclinée d'un angle tel que $\operatorname{tg} \alpha = 0{,}235$ environ.

Plusieurs auteurs ont montré que pour les différentes variétés de fer l'approche de la saturation se fait suivant une branche de courbe hyperbolique. Kennelly [1] a exprimé ce fait par une formule empirique représentant l'aimantation :

$$\frac{1}{k} = a + b\,H,$$

ou k représente la susceptibilité c'est-à-dire le rapport de l'intensité d'aimantation I au champ H et a et b des constantes.

Cette formule représente, en effet, très bien le phénomène dans une région qui commence bien avant la saturation. Elle a l'avange de toutes les formules linéaires de se prêter à un contrôle graphique facile et celui de donner très commodément par extrapolation la valeur de l'aimantation à saturation. On a en effet pour $H = \infty$

$$I_{max} = \frac{1}{b}.$$

[1] Kennelly. *Transactions of the American Institute of electrical Engineers*, vol. 8, p. 481, 1891.

Si donc en représentant graphiquement les valeurs expérimentales de $\frac{1}{k}$ en fonction de H on trouve une courbe se terminant par une portion sensiblement rectiligne, on pourra considérer l'inverse du coefficient angulaire de la droite qui se confond avec elle comme donnant bien l'aimantation à saturation.

Les courbes T_1, B_1, Q_1, (fig 8) représentent $\frac{1}{k}$ en fonction de H pour les directions des axes ternaire binaire quaternaire. Les deux premières se confondent avec des droites à partir de $H = 120$ c.g.s. et donnent pour l'aimantation à saturation 437 et 432 valeurs identiques, eu égard aux erreurs d'expérience et aux impuretés possibles de la matière. La courbe correspondant à l'axe quaternaire ne permet pas une semblable extrapolation. Malgré les valeurs relativement élevées (500 c.g.s.) qui ont été atteintes par le champ, les expériences ne permettent pas de décider si l'aimantation suivant l'axe quaternaire tend vers la même valeur, ce qui est d'ailleurs très probable.

Nous pouvons rendre compte des différentes particularités présentées par ces courbes par l'hypothèse suivante. Imaginons un cristal composé de trois systèmes de lames parallèles aux faces du cube séparés par des couches d'une substance non magnétique. Ces lames s'entrecroisent et constituent une sorte de réseau cubique, dans lequel les plans qui limitent la maille sont magnétiques et l'intérieur de la maille non magnétique.

Si l'on aimante le corps ainsi composé parallèlement à son axe ternaire, les trois systèmes de lames font avec la direction de l'aimantation des angles de 35° 16′, et l'ensemble se comporte pour cette direction comme une substance homogène.

Le champ étant dirigé suivant l'axe binaire, deux des systèmes de lames sont inclinés à 45° sur cet axe et sont dans des conditions un peu moins favorables à l'aimantation que dans le cas précédent. Le troisième système au contraire contient l'axe binaire et s'aimante facilement.

Pour l'aimantation parallèle à l'axe quaternaire deux des systèmes contiennent la direction de l'aimantation, le troisième au contraire lui est perpendiculaire et s'aimante avec une extrême difficulté, et son aimantation sera sensiblement proportionnelle au champ. On doit donc s'attendre à trouver pour l'aimantation parallèle à l'axe quaternaire une courbe résultant de la sommation des ordonnées d'une première courbe correspondant aux

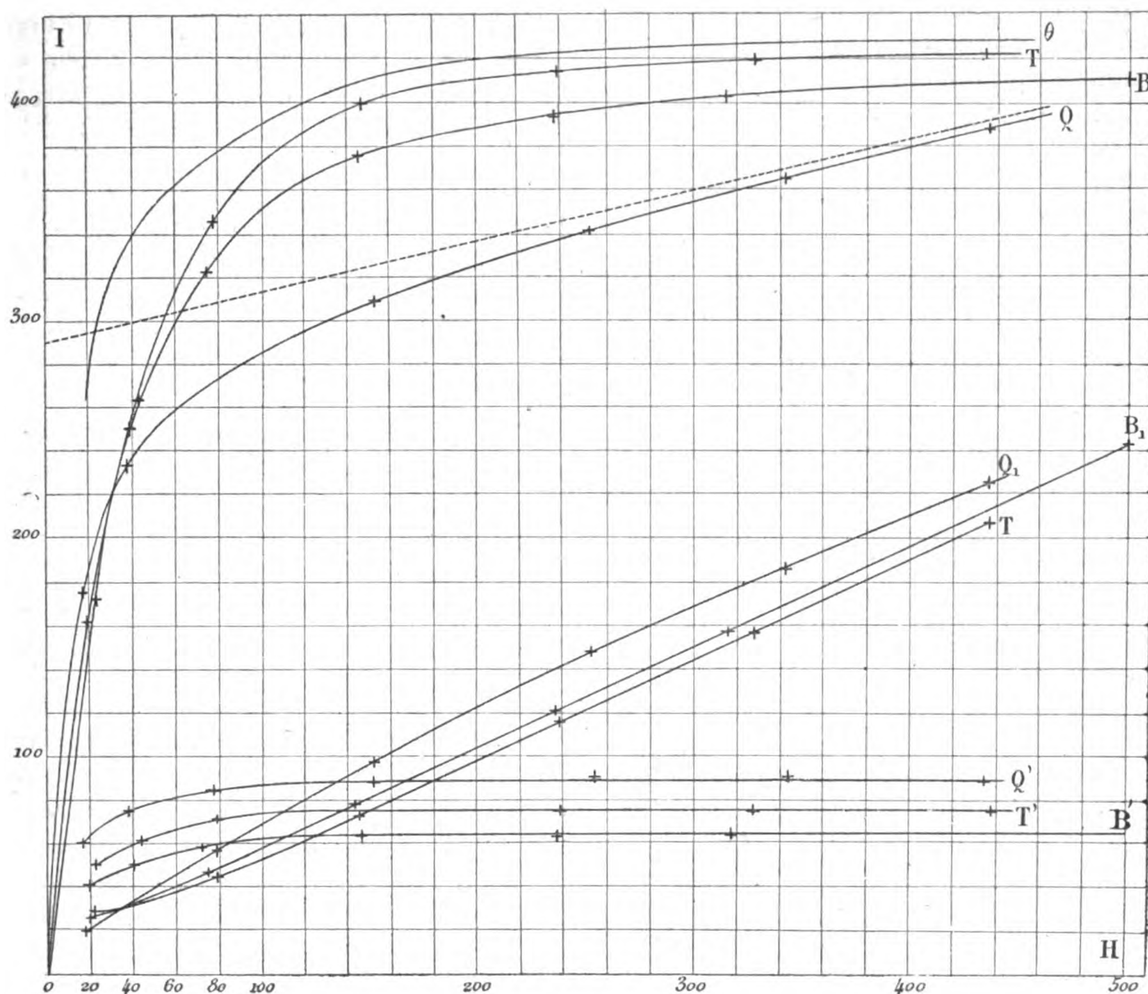


Fig. 8. — Courbes d'aimantation de la magnétite de Brozzo.

Aimantation totale	Aimantation résiduelle	$\frac{H}{I}$ en fonction de H
Courbe T direction de l'axe ternaire	Courbe T' direction de l'axe ternaire	Courbe T_1 direction de l'axe ternaire
» B » » binaire	» B' » » binaire	» B_1 » » binaire
» Q » » quaternaire	» Q' » » quaternaire	» Q_1 » » quaternaire
» θ voir le texte		

2/3 de la matière placée dans des conditions de facile aimantation et d'une deuxième droite représentant l'aimantation du dernier tiers de la matière. Cette courbe résultante aura donc une asymptote inclinée dont l'ordonnée à l'origine est égale à $\frac{2}{3}$ de l'aimantation à saturation. Cette condition semble remplie par la courbe expérimentale Q (fig. 8). L'ordonnée à l'origine de la ligne figurant l'asymptote hypothétique est :

$$290 = \frac{2}{3} \cdot 435.$$

Comme contrôle de cette hypothèse on peut déduire des courbes expérimentales la courbe de la substance placée dans les conditions de plus facile aimantation. Il suffit de retrancher dans la courbe Q la partie de l'aimantation proportionnelle au champ donnée par l'asymptote et de multiplier la différence par $\frac{3}{2}$ On obtient ainsi la courbe θ (même figure) qui, comme cela devait être, est au-dessus de la courbe représentant l'aimantation parallèle à l'axe ternaire et semble tendre vers la même aimantation à saturation que celle-ci.

On conçoit que si dans les directions parallèles aux axes binaire et ternaire la magnétite se comporte sensiblement comme une substance homogène la loi linéaire

$$\frac{1}{k} = a + b\,H$$

soit observée.

Supposons que pour l'aimantation parallèle à l'axe quaternaire les $\frac{2}{3}$ de la substance obéissent à la formule :

$$\frac{H}{I} = a + b\,H.$$

Pour le troisième tiers dont l'aimantation est proportionnelle au champ on aurait :

$$\frac{H}{I'} = \frac{1}{k'} = a',$$

et pour l'ensemble :

$$\frac{H}{I + I'} = \frac{1}{\frac{1}{a + b\,H} + \frac{1}{a'}}.$$

Cette formule hyperbolique correspond bien à la courbure *concave* du côté de l'axe des abscisses de la courbe Q_1.

La figure 8 contient encore les courbes représentant l'aimantation résiduelle pour les trois directions des axes. Elle est sensiblement constante à partir de $H = 150$ c. g. s. Elle est maxima pour l'axe quaternaire, minima pour l'axe binaire. Ceci ne semble pas en contradiction avec notre hypothèse sur la structure de la magnétite.

On peut avec le coefficient angulaire de l'asymptote de la courbe Q calculer le rapport de l'épaisseur des feuillets magnétiques que nous avons imaginés à celle de la matière non magnétique interposée. Nous pouvons, avec une approximation suffisante, supposer que toute la résistance magnétique réside dans les intervalles non magnétiques. Soient λ l'épaisseur de la matière magnétique par unité d'épaisseur totale et ρ la résistance magnétique apparente de l'ensemble ; on a :

$$\rho = 1 - \lambda,$$

mais

$$\rho = \frac{1}{1 + 4\pi k},$$

et

$$k = 0{,}235,$$

d'où

$$\lambda = 0{,}75.$$

Cette épaisseur de la matière magnétique, bien supérieure à celle des intervalles non magnétiques, rend impossible l'enchevêtrement des trois systèmes de lames en leur conservant des propriétés indépendantes. Nous ne pouvons donc considérer la structure hypothétique que comme équivalente *qualitativement* à la structure réelle.

b. Magnétite du Tyrol. — On a pu tirer d'un beau cristal de magnétite du Tyrol deux barreaux, l'un parallèle à l'axe binaire l'autre à l'axe quaternaire. Pour compléter la série, on a taillé un barreau parallèle à l'axe ternaire dans un autre cristal du même gisement. Ce cristal moins pur que le précédent contenait quelques inclusions de chlorite.

J'ai déterminé complètement les cycles d'aimantation sur ces trois prismes. Dans le tableau suivant je transcris seulement les valeurs relatives aux sommets de ces cycles, c'est à dire l'aimantation totale.

1° Aimantation parallèle à l'axe binaire, courbe B.

	1e série	
Point	H	I
1	1,68	11,9
2	3,93	41,8
3	8,65	108,4
4	20,75	213,7
5	0,32	299,4

	2e série	
1	37,8	288,2
2	16,4	394,4
3	285,0	436,1
4	502,0	448,8
	3e série	
1	38,8	296,1
2	117,7	394,3
3	251,5	430,7

2° Aimantation parallèle à l'axe quaternaire, courbe Q.

	1e série	
Point	H,	I
1	155	6,3
2	3,59	29,4
3	6,74	66,0
4	12,38	111,4
5	275,5	187,4
	2e série	
1	41,1	251,0
2	87,1	294,0
3	169,4	334,4
4	310,0	376,4
5	529,0	422,6
	3e série	
1	40,1	244,5
2	86,0	291,4
3	128,9	315,7
4	272,8	367,5
5	400,0	398,8

3° Aimantation parallèle à l'axe ternaire. courbe T.

	1e série	
Point	H	I
1	1,98	11.1
2	4,88	36.2
3	8,68	70,7
4	17,76	128,1
5	38,79	212,8
6	77,76	297,4
	2e série	
Point	H	I
1	75,0	292,7
2	84,7	310,7
3	152,7	368,3
4	310,3	412,8

Ces résultats sont représentés par les courbes de la figure 9.

Ils sont plus complets que ceux de la magnétite de Brozzo pour les champs faibles. Pour opérer dans ces derniers il a fallu remplacer l'ampèremètre par un galvanomètre un peu plus sensible dont la constante a été déterminée par la méthode des éléments étalons. Les séries d'expériences faites ainsi avec des appareils différents se raccordent bien.

Les courbes B et Q représentent l'aimantation de la magnétite du Tyrol parallèlement aux axes binaire et quaternaire, observée sur les barreaux tirés d'un même cristal. Ces courbes présentent la plus grande analogie avec celles de la magnétite de Brozzo, avec la différence qu'elles ne se coupent pas dans le voisinage de l'origine. La courbe B s'approche de l'asymptote horizontale suivant une loi hyperbolique et donne par extrapolation pour l'aimantation à saturation

$$I_{max} = 469,$$

valeur plus élevée que 437 et 432 trouvés précédemment pour la magnétite de Brozzo.

Si l'on excepte le point correspondant au champ le plus élevé $H = 529$, la courbe de l'aimantation parallèle à l'axe quaternaire semble avoir une asymptote inclinée dont l'ordonnée à l'origine $I = 312$ est égale aux $\frac{2}{3}$ de l'aimantation à saturation suivant l'axe binaire. Son inclinaison est sensiblement la même que celle qui a été trouvée pour la magnétite de Brozzo et est donnée par $\tang \alpha = 0,235$ ce qui indique, en nous plaçant au point de vue de notre hypothèse sur la constitution de la magnétite, que la structure de ce cristal d'un autre gisement est la même que celle du premier.

Si le dernier point de la courbe Q est un peu trop au-dessous de l'asymptote cela s'expliquerait par le fait qu'une matière feuilletée perpendiculairement au champ ne prend pas indéfiniment une aimantation proportionnelle au champ, et finit par approcher de la saturation dans un champ suffisamment élevé.

La valeur de l'aimantation à saturation du barreau parallèle à l'axe ternaire, déterminée par extrapolation, est 471, valeur presqu'identique à 469 qui a été trouvé pour l'axe binaire dans un autre octaèdre. La courbe T (fig. 9) montre que nous avons ici une matière s'aimantant moins facilement que celle du premier octaèdre.

c. Magnétite de Traverselle. — J'ai utilisé un seul barreau, parallèle à l'axe binaire, provenant d'un dodécaèdre de Traverselle très pur, sur lequel j'ai fait des déterminations complètes de cycles d'aimantation.

Le tableau suivant donne les sommets des cycles seulement.

Aimantation de la *magnétite de Traverselle*, parallèlement à l'axe binaire (courbe B') :

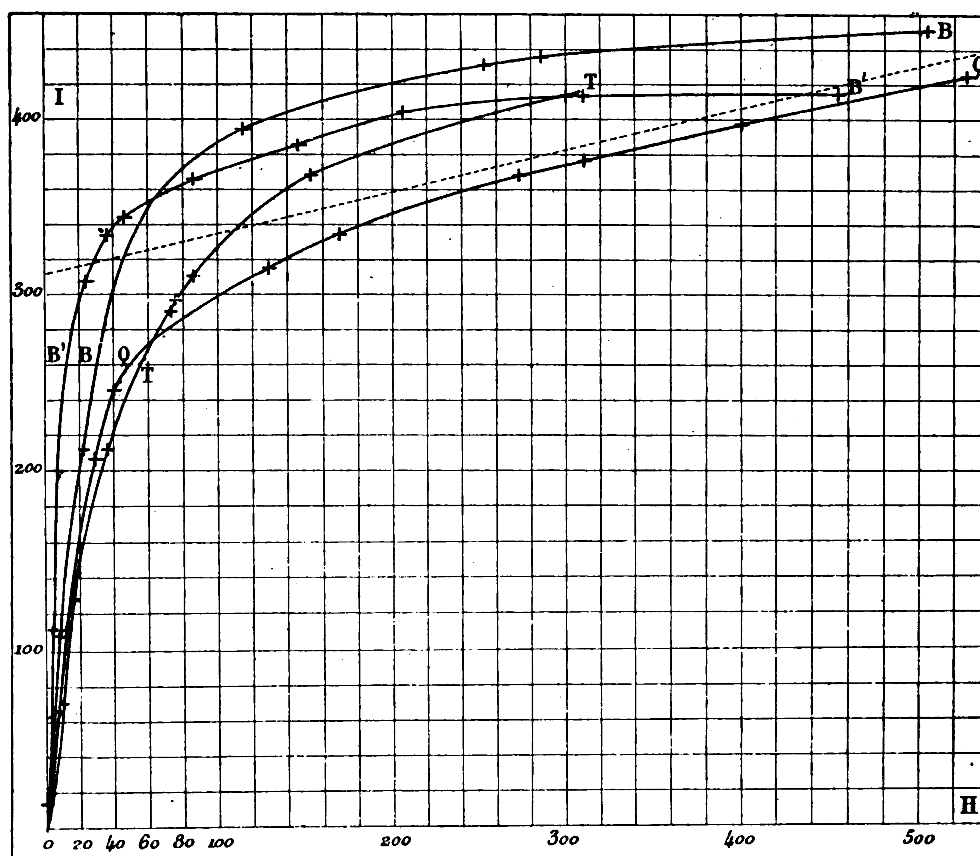


Fig. 9. — Courbes d'aimantation.
Courbe B, Magnétite du Tyrol, direction de l'axe binaire.
» Q, Même cristal » » quaternaire.
» T, Autre cristal, même gisement, direction de l'axe ternaire.
» B', Magnétite de Traverselle, » » binaire.

1[e] série

Point	H	I
1	0,912	21,9
2	2,17	61,9
3	3,82	111,6
4	7,84	200,0
5	22,27	308,3
6	45,90	342,3

2[e] série

Point	H	I
1	85,3	365,0
2	143,1	384,6
3	208,0	402,6
4	455,0	415,0

Ces nombres ont servi à construire la courbe B' de la figure 9.

Cette magnétite m'a donné la valeur la plus élevée de la susceptibilité $k = \frac{I}{H}$. Elle ne dépasse néanmoins pas 30 et est par conséquent bien loin d'atteindre celle du fer. La valeur de l'aimantation à saturation déterminée par extrapolation est de 431, valeur très voisine de celles trouvées pour la magnétite de Brozzo qui ressemble à celle de Traverselle, tant par sa forme cristalline que par son aspect extérieur,

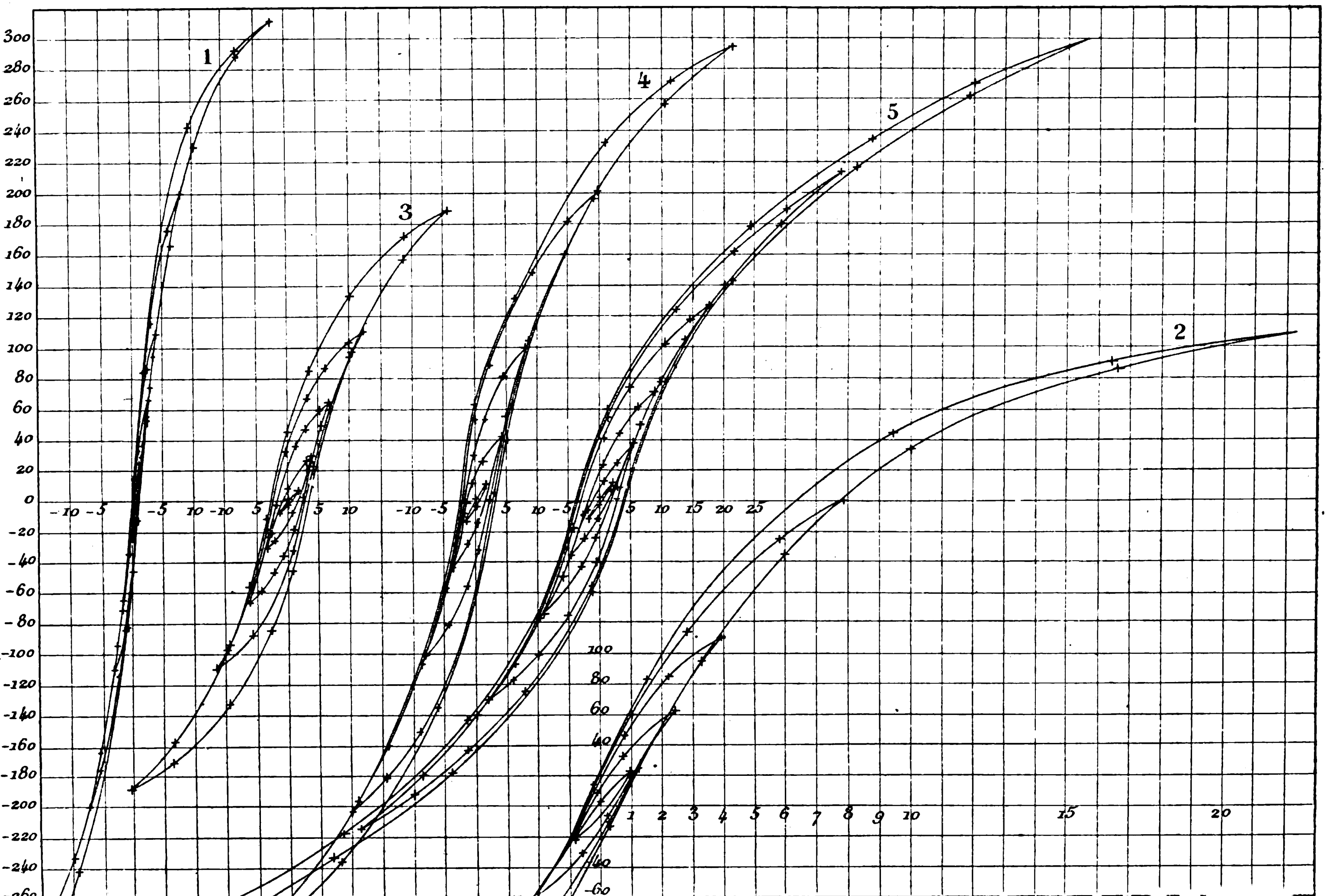


Fig. 10. — Cycles d'aimantation. — 1. Magnétite de Traverselle, direction de l'axe binaire. — 2. La même, échelle des abscisses quintuplée. 3. Magnétite du Tyrol, direction de l'axe quaternaire. — 4. Même cristal, direction de l'axe binaire. — 5. Autre cristal du même gisement, direction de l'axe ternaire.

et pour laquelle on avait $I_{max} = 437$ et 432.

d. Cycles d'aimantation. — Les cycles de la magnétite du Tyrol et de celle de Traverselle sont représentés dans la figure 10. Les courbes 1 se rapportent à la magnétite de Traverselle, aimantée parallèlement à l'axe binaire, dont nous venons de parler. Pour cette matière, la grande susceptibilité va de pair avec une aimantation résiduelle extrêmement faible. Les courbes 1 construites à la même échelle que 3, 4 et 5, sont extrêmement voisines les unes des autres. Leur forme s'aperçoit mieux en 2, où les abscisses ont été amplifiées dans le rapport 1 : 5. La régularité de ces cycles très étroits est une nouvelle preuve de la précision des observations.

Ils présentent une très grande analogie avec ceux du fer doux ; avec cette différence cependant, que pour ces derniers, la plus grande partie de la branche descendante de la courbe se trouve du côté des abscisses négatives, de sorte que l'axe des ordonnées traverse le cycle dans le sens de la longueur. Il suffirait de supposer la présence d'une très faible quantité de matière étrangère disséminée dans la masse et produisant un faible champ démagnétisant pour que la courbe vraie rentrât dans le type du fer. Si l'on suppose, pour pouvoir faire le calcul, l'impureté disposée en feuillets perpendiculaires à l'aimantation, leur épaisseur devrait être $\frac{1}{500}$ de l'épaisseur de la matière magnétique. On ne peut donc pas conclure que cette courbe appartient à un type nouveau.

Les figures 3, 4 et 5 représentent les cycles de la magnétite du Tyrol aimantée parallèlement aux axes ternaire, quaternaire et binaire. Ces courbes ressemblent à celles de la magnétite compacte de Steinmetz (1). Elles présentent une particularité qui se rencontre aussi dans les cycles du fer ; les sommets d'un cycle sont souvent coupés par la branche ascendante d'un cycle un peu plus grand.

L'aire de ces courbes représente l'énergie dissipée dans un cycle. Elle a été mesurée et les résultats sont consignés dans les tableaux suivants :

Magnétite de Traverselle parallèle à l'axe binaire :

Cycle	1	2	3	4	5	
Aimantation maxima du cycle	21,19	61,9	111,1	200,0	308,3	CGS
Energie dissipée	5,2	34,0	88,4	196,0	476,4	CGS

Magnétite du Tyrol parallèle à l'axe quaternaire :

Cycle	1	2	3	4	5	
Aimantation maxima du cycle	6,3	29,4	66,0	111,4	187,4	CGS
Energie dissipée	6,0	87	360	890	1970	CGS

Magnétite du Tyrol parallèle à l'axe binaire :

Cycle	1	2	3	4	5	
Aimantation maxima du cycle	10,8	42,9	99,8	202,0	294,2	CGS
Energie dissipée	8	142	589	1690	2660	CGS

Autre magnétite, même gisement parallèle à l'axe ternaire :

Cycle	1	2	3	4	5	6	
Aimantation maxima du cycle	11,1	36,2	70,7	128,1	212,8	297,4	CGS
Energie dissipée	10	133	360	1 079	2 120	3 380	CGS

(A suivre). Pierre Weiss.

(1) Steinmetz. *Transactions of the American Institute of electrical Engineers*, vol. IX, p. 669, 1892.

LE TRAITEMENT ELECTRIQUE DES MINERAIS DE BROKEN-HILL (1)

La base de toute méthode pour séparer les métaux de la blende est un traitement mécanique des minerais dont le caractère rebelle est très caractéristique à Broken-Hill. Tout d'abord on a à les concasser, à les concentrer, pour en éliminer les parties stériles.

Cette concentration consiste à prendre par

(1) Voir l'*Éclairage Électrique*, du 16 mai, t. VIII, p. 203.

exemple 3 à 4 tonnes d'un rendement médiocre, et à en faire une tonne seulement qui renfermera tout le métal qui se trouvait dans les trois ou quatre qui étaient mélangées de terre, de gangue, etc. C'est une manière de vanner les métaux comparable au vannage du blé qui étant plus lourd reste dans le van pendant que les parties légères et inutiles sont éliminées. Ces minerais concentrés, on peut en tirer parti, mais on les mélange souvent avec d'autres qui ne sont pas concentrés et on les passe aux fourneaux pour les désulfurer. Ce qui complique le cas dans les mines de Broken-Hill, c'est que, non seulement la main-d'œuvre et le combustible y sont chers, mais que la chaux et les autres flux n'y sont pas en abondance. Ceci est d'autant plus important que les masses de blende non oxydée, c'est à dire vraiment réfractaire, sont énormes.

Ces quelques explications font voir clairement que ni la chimie, ni l'électrochimie ne peuvent se passer des moyens métallurgiques pour amener la blende au point où on peut recourir à des méthodes spéciales. La réduction des sulfures à l'état de sulfate est indispensable ; la lixiviation de ces sulfates se fera d'autant mieux que la sulfatation aura été plus complète.

Ceux qui ne se sont pas bien rendu compte du problème s'y sont pris à rebours du sens pratique, c'est à dire ont oublié de s'assurer que leur procédé était économique et réalisable. Tels Squir et Currie qui transformaient le zinc des minerais en oxyde qu'ils dissolvaient au moyen de soude caustique pour obtenir un électrolyte dont le zinc était déposé sur une cathode mercurielle, ce qui forçait à extraire le zinc de cet amalgame au moyen de la distillation.

Est-il possible de trouver d'autres exemples d'aberration ? Très certainement, oui ! même ils sont assez nombreux, et nous ne nous attarderons pas à les énumérer ; mais nous indiquerons les diverses manières auxquelles ont eu recours les électrochimistes.

En présence de minerais de cuivre et de zinc, Sergall se servait d'une solution de chlorure de fer pour les lessiver ; son mode d'électrolyse ne s'appliquait pas précisément au zinc, mais il est bon de le citer comme suggestion dans certains cas d'électrodéposition, car son électrolyte passait d'abord dans les compartiments cathodes de 2 ou 3 cuves et se rendaient de là dans des compartiments positifs.

Deux métallurgistes anglais, Luvis et Gelstharp, calcinaient les minerais dans des fours spéciaux où les gaz étaient utilisés pour maintenir la température à un certain point, puis ils recueillaient l'acide sulfureux dont ils tiraient de l'acide sulfurique et ils électrolysaient la solution de sulfate de zinc qu'ils formaient par lixiviation et qu'ils neutralisaient au moyen de chaux et de carbonate de soude, etc., etc. Leurs cuves étaient divisées en compartiments positifs et négatifs et c'était dans les positifs qu'ils mettaient leur chaux ou leur eau de chaux. Il ne semble pas à première vue qu'il y ait rien de bien remarquable dans la partie électrolytique de ce système qui, très certainement, a dû causer de cruels déboires à ceux qui ont espéré épuiser ces solutions de sulfate de zinc.

Les praticiens qui déposent le zinc de solutions soigneusement préparées sont là pour témoigner qu'on ne fait pas ce qu'on veut du zinc qui est en solution, que si, au commencement, on obtient facilement une couche de zinc, les choses vont tout autrement au bout de très peu de temps, et que, n'a pas qui veut du zinc métallique épais sur ses cathodes.

Si les électriciens suédois Cassel et Kjellin n'avaient pas de cloisons en terre poreuse dans leurs cuves, on pourrait dire beaucoup de bien de leur système qui est extrêmement rationnel.

Ils font griller la blende qui passe à l'état de sulfate dont ils obtiennent une solution qu'ils électrolysent en se servant d'anodes en fer et de cathodes en zinc. Il n'est question ni de plomb ni d'argent dans ce procédé, mais nous n'en parlons pas moins en détail, parce qu'il est bien compris, bien étudié et qu'au milieu de tant d'autres qui ne tiennent pas

debout, il présente des qualités assez rares, qui ont été tellement goûtées qu'il s'est trouvé des gens qui s'en sont inspiré. Leurs cathodes sont en zinc et elles baignent dans une solution de sulfate de zinc ; les anodes sont dans une solution dont le composant électro-positif est du fer tandis que le négatif est un acide semblable à celui de l'électrolyte qui est dans le compartiment cathode, où le zinc se dépose sur les plaques de zinc pendant qu'une quantité de fer égale se dissout dans l'anolyte.

Le motif pour lequel les auteurs ont une anode soluble est de retenir l'acide libéré pendant l'électrolyse du sel de zinc pour prévenir le développement de l'oxygène et de l'hydrogène et de diminuer la différence de potentiel.

Si cependant l'acide libéré forme au pôle positif des sels insolubles, comme par exemple lorsque l'anode est en fer et que le zinc se combine avec l'acide sulfurique, avec formation d'un sel borique de fer, on peut se dispenser des séparateurs poreux puisque l'électrolyte ne subit pas de transformation, les sels de fer à l'anode étant insolubles et se précipitant au fond des cuves. Dans ce cas, on n'a qu'une solution, celle du sulfate de zinc. C'est ce dernier dispositif que nous aurions voulu voir adopter définitivement par MM. Kjellin et Cassel qui ont dû sans aucun doute être extrêmement satisfaits de la marche de leurs électrolyseurs.

Ancel et Thiollier, nos compatriotes, eux aussi se servaient d'anodes solubles, seulement ils les formaient en se servant des minerais soit entassés dans des paniers, soit agglomérés avec de la plombagine et de l'argile grasse. Leurs plaques positives, de blende calcinée, étaient plongées dans un bain borique et le fer, le plomb, la chaux, l'argent restaient, d'après eux, dans les résidus d'où on les récupérait soit par la fusion, soit par l'électricité. Combien de plaques positives faudrait-il pour traiter 50 tonnes par jour ? En supposant que l'opération marche bien pendant quelques heures, comment ira-t-elle quand l'anode commencera à se désagréger et que la plombagine et l'argile auront souillé l'électrolyte dont elles auront fait une boue. Et puis, n'y a-t-il pas la question des contacts mal faits, mauvais, celle de la mauvaise conductibilité ? Tous ces gens-là ont travaillé, cherché, peiné beaucoup, et, somme toute, ils n'ont guère été récompensés, ils n'ont pas même eu la satisfaction d'entrevoir le succès. Ils ont négligé le côté pratique, la possibilité de l'application industrielle, l'économie, les conditions vitales d'une entreprise électro-métallurgique et ils ont été punis par où ils ont péché.

Toujours lui ? Lui partout, dirait le Lamartine de l'électricité s'il avait à écrire un poème muet sur l'industrie électrique comme c'était la grande mode il y a cent ans. C'est Siemens qu'il célébrerait surtout comme pionnier de l'électrolyse et de l'électro-métallurgie, car il n'est presque pas de problèmes électrolytiques ou électro-métallurgiques qu'il n'eût résolu ou tenté de résoudre.

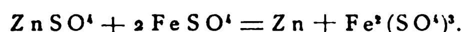
Avant de s'attaquer aux minerais de Broken Hill et, par une innovation aussi simple qu'efficace, de leur arracher leur métaux d'une façon presque complète que nous décrirons plus loin, il avait traité avec succès les sulfures d'arsenic et d'antimoine qui se rencontrent si souvent dans les districts aurifères. Ce n'est pas s'écarter beaucoup du sujet que de dire en deux mots en quoi consistait le procédé Siemens. Les sulfures pulvérisés étaient agités et maintenus en suspension dans une solution de sulfhydrate alcalin. On avait alors une lessive qui contenait les composés antimoniaux et arsenicaux, puis on faisait agir l'électrolyse.

Déjà il y a dix ans, il avait démontré que c'était faire fausse voie que de faire des agglomérés de minerai pour s'en servir comme d'anodes solubles, et il conseillait l'emploi d'anodes insolubles pour déposer le métal de la solution qui le contenait en la combinant avec un sel ferreux, et il adoptait pour former des compartiments positifs et négatifs, des séparateurs ou diaphragmes non poreux qui

ne laissaient pas passer la solution, mais qui permettait le passage du courant électrique par lequel le sel ferreux était transformé en sel ferrique. Cette théorie des cloisons poreuses dans un sens, non poreuses dans l'autre, est bien, on en conviendra, celle que M. Hargreaves a tout récemment préconisée.

Cette solution ferrique servait à lessiver le minerai, et il est bon de noter que ces propriétés des sels ferreux et ferriques ont été utilisées maintes fois en électrolyse. Les réactions sont les suivantes quand on a une solution de sulfate de zinc et de sulfate ferreux :

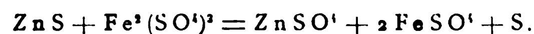
Il se forme du zinc et du sulfate ferrique



$$ZnSO^4 + 2 FeSO^4 = Zn + Fe^2(SO^4)^3.$$

Ce sulfate ferrique a la propriété de dissoudre le zinc des blendes légèrement grillées avec formation de sulfate de zinc et de sulfate ferreux.

Pareille réaction a lieu quand on se sert de chlorure de zinc et de chlorure ferreux,



$$ZnS + Fe^2(SO^4)^3 = ZnSO^4 + 2 FeSO^4 + S.$$

Le principe de Siemens est que des solutions oxydables qui conduisent le courant électrique sont oxydées dans le compartiment positif en présence d'anodes en charbon, en plomb ou en platine, et sont réduites dans le compartiment négatif. La circulation de l'électrolyte est indispensable. Le seul inconvénient est que la force électromotrice est assez élevée entre le zinc et le charbon. Nous renvoyons les curieux qui cherchent à approfondir les questions relatives à la séparation des métaux tels que le zinc aux Mémoires de Vedrinsky (*Annales Industrielles*, XVIII, p. 749) et de Kiliani (*Moniteur Scientifique*, XXVI, p. 13).

Kiliani recommande de se servir d'un bain aussi concentré que possible, parce qu'avec une solution trop étendue, il se produit une grande évolution d'hydrogène, et qu'alors le zinc se dépose à l'état spongieux. Avec une solution moyenne, dit-il, le dégagement d'hydrogène augmente proportionnellement avec le courant, tandis qu'avec un électrolyte concentré, le phénomène change de sens et la formation d'hydrogène est d'autant plus faible que le courant électrique est plus dense.

Ces recommandations ne sont guère faciles à mette à exécution, quand on lessive des minerais pauvres et que l'électrolyte s'affaiblit au fur et à mesure que l'opération avance. Comment ferait-on d'après cette théorie si on avait à déposer de l'or d'une solution extrêmement pauvre qu'il s'agit d'épuiser sinon complètement du moins presque complètement ? Ce n'est déjà pas chose aisée que de déposer du zinc d'une solution préparée selon les règles de l'art. Demandez-le aux galvanoplastes et ils vous confirmeront ce fait très positif que le cuivrage est à la portée de tout le monde et qu'il s'effectue dans des conditions de quasi perfection, tandis qu'il y a peu d'électriciens qui réussissent à faire du bon zincage. On a cependant essayé toutes sortes d'électrolytes. Meyer recommandait une solution ammoniacale de sulfate de zinc avec anode de zinc et cathode de cuivre. Lückow disait que pour avoir un dépôt de zinc à grain très égal et très fin il fallait avoir une solution de sulfate ou de chlorure de zinc neutre ou très faiblement acide. D'autres conseillent les bains de sulfite ; Siemens et Halske ajoutaient un halogène à des solutions neutres ou faiblement acides de sulfate de zinc pour obtenir un dépôt adhérent de métal à structure serrée au lieu de l'éponge ou du zinc pulvérulent qu'on a à cause du dégagement d'hydrogène. Lorsqu'on songe aux difficultés de la déposition d'un métal en laboratoire, on peut se faire une idée de celles qu'on a à surmonter quand il s'agit d'épuiser une masse de liquide qui ne renferme que peu de zinc mélangé à d'autres produits de la lixiviation. Citons en terminant Cowper Cowles qui ajoute du sulfate de fer au sulfate de zinc et met de la poussière de zinc dans le bain, et rentrons dans le sujet du traitement des minerais de blende.

Watt, qui, à tort ou à raison, passait pour une grande autorité en matière de galvanoplastie , désapprouvait l'emploi des solutions uniquement composées de sulfate de zinc ; il

prétendait, et en cela on ne l'avait pas attendu pour le savoir, qu'on n'a ainsi qu'un métal granuleux et que lorsque le bain devient un peu acide, le zinc se redissout avec évolution d'hydrogène et polarisation. Son extraction du zinc des minerais consistait à le dissoudre au moyen d'acides acétique et sulfurique, après un grillage préalable.

La solution était électrolysée avec circulation. Les anodes étaient en charbon, les cathodes en zinc. La distance entre les électrodes étaient de 6 centimètres. La f. é. m. était de 2,19 volts par cuve, le courant d'un ampère par décimètre carré. Le rendement était de 90 pour 100 du rendement théorique, la température était de 30° C et la densité de la solution égale à 1,100.

Les avantages qu'on revendiquait étaient que dans les systèmes de fusion il y a toujours au moins 15 pour 100 du zinc qui sont perdus, tandis que par l'électrolyse on récupère tout le métal en solution, et que, non seulement ce zinc est plus pur que celui que donne la fusion mais encore les résidus métalliques peuvent être traités pour en tirer l'or et l'argent qu'ils contiennent.

Les dynamos mentionnées dans le devis estimatif de cette exploitation devaient être de 100 000 watts, ce qui aurait nécessité 180 chevaux-vapeur.

On comptait avoir 25 bains en série qui auraient pris chacun 4 volts, soit 100 volts et 1 000 ampères qui auraient déposé 4 tonnes de zinc par semaine. Avec 12 dynamos de 100 unités on aurait eu près de 50 tonnes de zinc par semaine.

Les expériences sur la marche d'une petite installation montée à Battersea (Londres) avaient été conduites par MM. Fricker et Monertain et le professeur Sylvanus Thompson en avait fait ressortir les résultats favorables dans un rapport dont voici le résumé, qu'il est intéressant de faire parce que très certainement il est excessivement peu connu :

Le procédé Watt consiste à traiter le minerai grillé au moyen d'acide pour obtenir une solution dont on sépare le zinc par l'électrolyse en même temps que l'acide qui est libéré est utilisable pour dissoudre d'autre minerai.

C'est donc un procédé continu dans lequel l'acide peut servir indéfiniment. Sans cesse, de nouvelles masses de solutions neutres de zinc arrivent dans les cuves électrolytiques et en sortent acides et par conséquent propres, après avoir cédé leur zinc, à retourner en dissoudre de nouveau dans les cuves de lixiviation.

Le zinc déposé sur les cathodes est solide, régulier, remarquablement pur. Quoique le minerai contienne beaucoup de fer et de plomb, on ne trouve pas trace de ces métaux dans le zinc électrolytique. Le procédé Watt semble tout à fait pratique et susceptible d'être exploité sur une grande échelle sans difficulté et d'une façon économique et rémunératrice. Rien n'est plus aisé que de préparer la solution zincifère, de la maintenir à la densité voulue et de la faire circuler dans les bacs.

Le grand avantage de l'extraction électrolytique du zinc sur la méthode métallurgique proprement dite est que le zinc qu'elle donne ne contient pas d'autres métaux, tels que le plomb et l'arsenic. On ne peut la comparer, qu'à l'électro-déposition de cuivre pur qui est exploitée avec tant de succès depuis quelques années dans le Pays de Galles et ailleurs. Pour un même courant, il y a plus de zinc déposé que de cuivre ; mais comme la f. é. m. qu'exige le zinc est plus grande que celle que demande le cuivre, il en résulte qu'on a moins de zinc que de cuivre par cheval-heure. Dans les expériences faites à Batterna, on a trouvé que le courant dépassait d'un peu moins de 5 pour 100, le minimum de courant théorique requis pour obtenir un dépôt et cela prouve que la perte, qui dans tant de procédés électrolytiques est due à l'action locale et à la production de gaz nuisibles, est dans les appareils Watt une quantité absolument négligeable.

Grâce à ce nouveau procédé, on peut traiter des minerais qui étaient jusqu'à présent, considérés comme impropres à la fusion et

qui étaient rejetés par les fondeurs comme contenant trop de plomb ou trop de poussières.

L'électrolyse en tire tout le zinc, et les autres métaux alliés restent derrière, soit comme résidu insoluble mélangé avec les matières silicieuses ou terreuses durant la première opération de lixiviation, soit comme précipité dans les cuves électrolytiques. Par des moyens métallurgiques on peut récupérer le plomb, le cuivre, l'or et l'argent que renferment ces résidus.

Rien de plus flatteur qu'un rapport de ce genre. Mais les choses en sont restées là. Peut-être est-ce à cause de la mort de Watt. C'est très possible, plus que possible ? Avec l'inventeur meurt son œuvre. C'est ainsi, sans doute, qu'on n'a plus entendu parler de la fabrication des tubes en cuivre électroytique que Watt voulait entreprendre et dans laquelle il remplaçait ingénieusement le fameux brunissoir d'Elmore.

E. Andreoli.

(*A suivre*)

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Régulateur de pression, par W. H. Chapman (¹).

Cet appareil se compose essentiellement d'un rhéostat intercalé dans le circuit d'excitation, et qui est commandé par un solénoïde monté en dérivation sur le circuit à alimenter. Les résistances sont disposées sur des tubes recouverts de mica qui sont enfermés à l'intérieur d'une boîte en fer munie d'un couvercle en ardoise. Sur celui-ci est disposée une série de contacts rangés en arc de cercle, au centre duquel est pivoté un levier. Un des bras de ce levier porte un frotteur qui prend contact avec les segments sur leur tranche, pour introduire ou supprimer des résistances.

L'autre bras est muni d'un contrepoids mobile à volonté qui sert à régler le voltage ; une fois ce contrepoids fixé dans une position donnée, le voltage reste constant quelles que soient les variations de vitesse de la génératrice. Le solénoïde est assez puissant pour

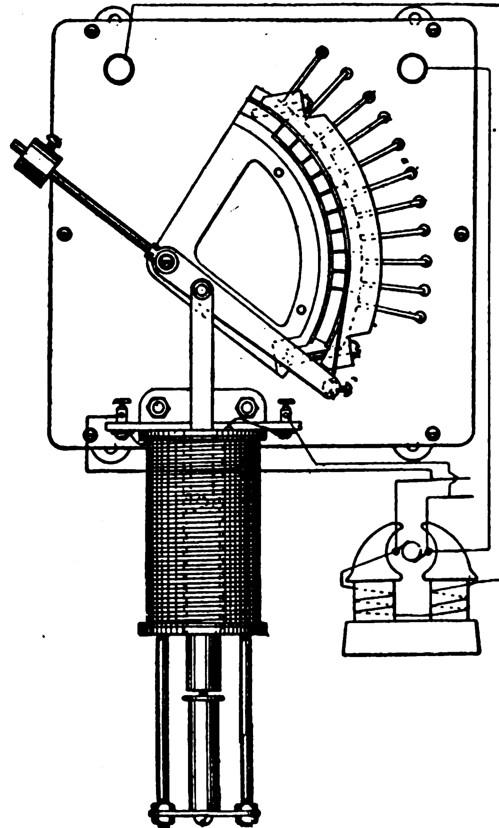


Fig. 1. — Régulateur de pression, *W. H. Chapman*.

que les frottements soient à peu près négligeables ; il est calculé, ainsi que son noyau, pour que la force d'attraction soit presque absolument constante sur une distance de 5 cm environ.

Un solénoïde dépensant 55 watts règle à 2 pour 100 près ; un solénoïde plus puissant règle avec plus de précision. A Bar Mills (Me) la vitesse angulaire d'une dynamo pour éclairage, mue par une roue hydraulique, variait de 900 à 1 400 tours par minute, suivant la charge. La variation maxima du voltage ne

(¹) *Electrical Review* (New-York) 15 avril 1896, p. 189.

dépassait pas pourtant 1,5 volt sur un circuit à 110 volts, et bien que la génératrice fut simplement enroulée en dérivation.

G. P.

Distribution polyphasée Ferraris et Arno (1895).

Un moteur biphasé est formé de deux inducteurs orthogonaux A A_1, B B_1 dont l'un A A_1 est dérivé sur un circuit alternatif P Q et d'une armature en court circuit. La rotation de M engendrera deux courants diphasés de 90° en intensité et en potentiel pourvu que la résistance des inducteurs soit assez faible, de sorte que l'on pourra considérer les pôles A et A_1, B et B_1 de ces inducteurs comme les quatre pôles d'une génératrice diphasée. Deux

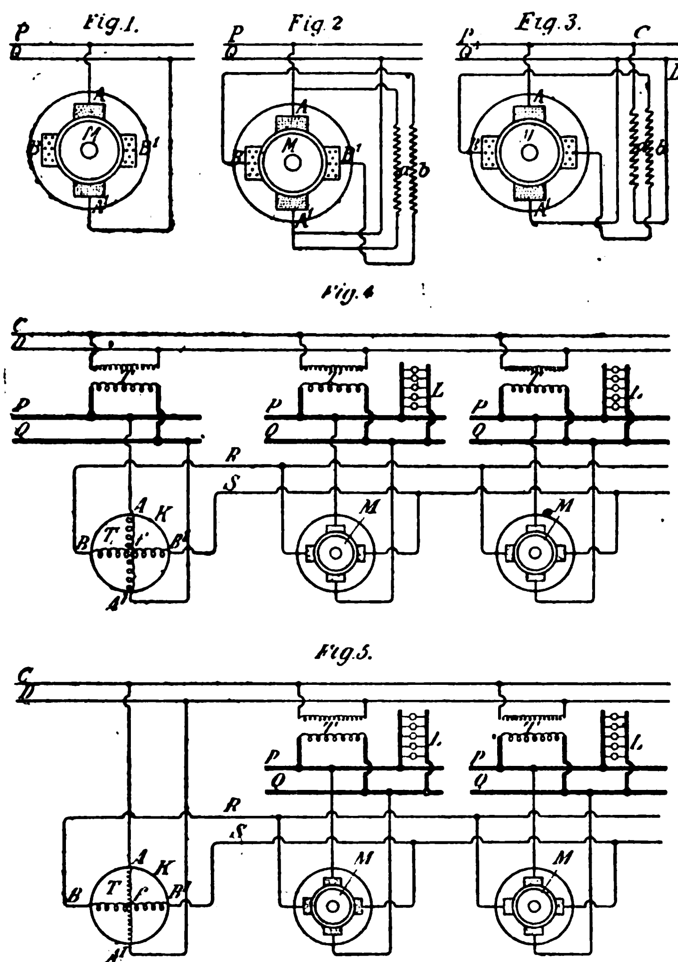


Fig. 1 à 5. — Distribution polyphasée *Ferraris* et *Arno*.

circuits *a* et *b*, identiques en résistance, en inductance et capacité seront parcourus par des courants diphasés de 90°, et de même pour les circuits *a* et *b* dérivés en C et en D sur P Q.

Il suffit, comme on le sait, pour maintenir la rotation de M, de lui imprimer la vitesse convenable tout en faisant passer le courant alternatif en A A_1 : on réalise ainsi un moteur synchrone monophasé, l'inducteur B B_1 ne servant qu'au démarrage ; mais grâce à la disposition précédente l'appareil fonctionne comme un transformateur de primaire A A_1 et de secondaire B B_1 à courants diphasés de 90°.

On a représenté en figures 4 et 5 par C D,

les deux feeders d'un réseau à courants alternatifs de haute tension, par T T T des transformateurs ordinaires envoyant en P Q des courants de basse tension et par T *f* un transformateur diphaseur dont le primaire est dérivé sur P Q (fig. 4) ou sur C D (fig. 5) : ce transformateur envoie par son secondaire B B_1, en R S, des courants de basse tension et diphasés de ceux de C D.

On peut, comme l'indique la figure 6 remplacer les deux fils R et S par un seul P, en reliant B à A et B_1 aux conducteurs S_1 S_2 du circuit secondaire par des fils d'une section égale à celle de R.

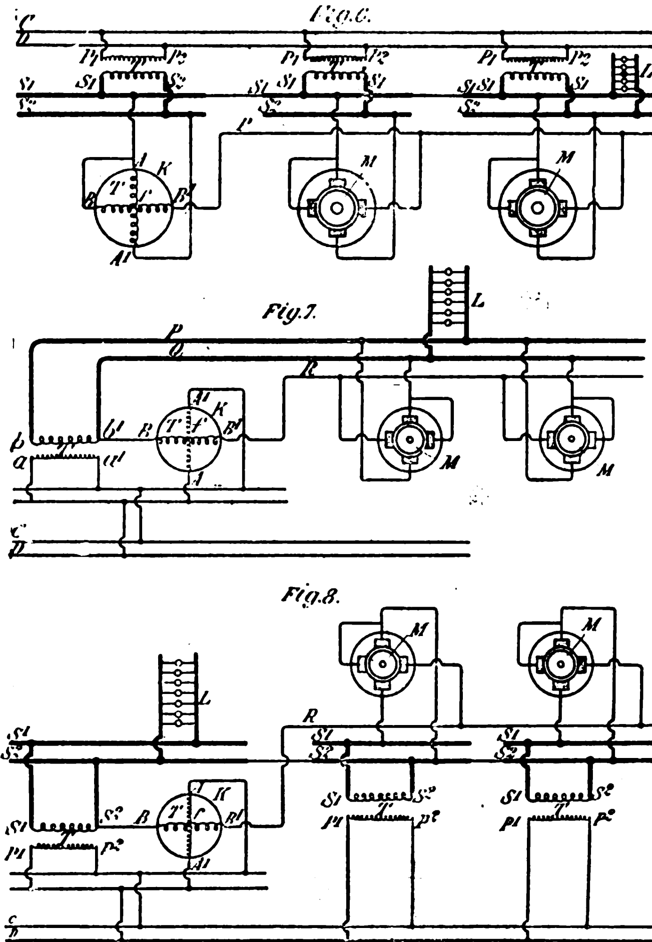


Fig. 6 à 8. — Distribution polyphasée *Ferraris* et *Arno*.

Le système (fig. 7) constitue en principe une distribution alternative à 3 fils, avec courants décalés de 90° engendrés dans les secondaires *b b* du transformateur ordinaire T et B B, du transformateur diphaseur T *f*, dont les primaires *a* a_1 et A A sont reliés en parallèle avec C D.

Le dispositif (fig. 8) résultant de la combinaison ceux des figures 6 et 7 s'explique de lui-même et montre comment on peut en obtenir l'équivalent toujours avec un seul fil R partant de T *f*.

C. R.

Conducteurs isolés Felters et Guillaume (1895).

L'isolement se fait par une couche d'air réservé par une enveloppe isolante *a* renfermant les conducteurs *b b*, cloisonnée en *a a* par le

repliement de $a\,a$. La forme cylindrique de a résiste mieux aux pressions ; la forme prisma-

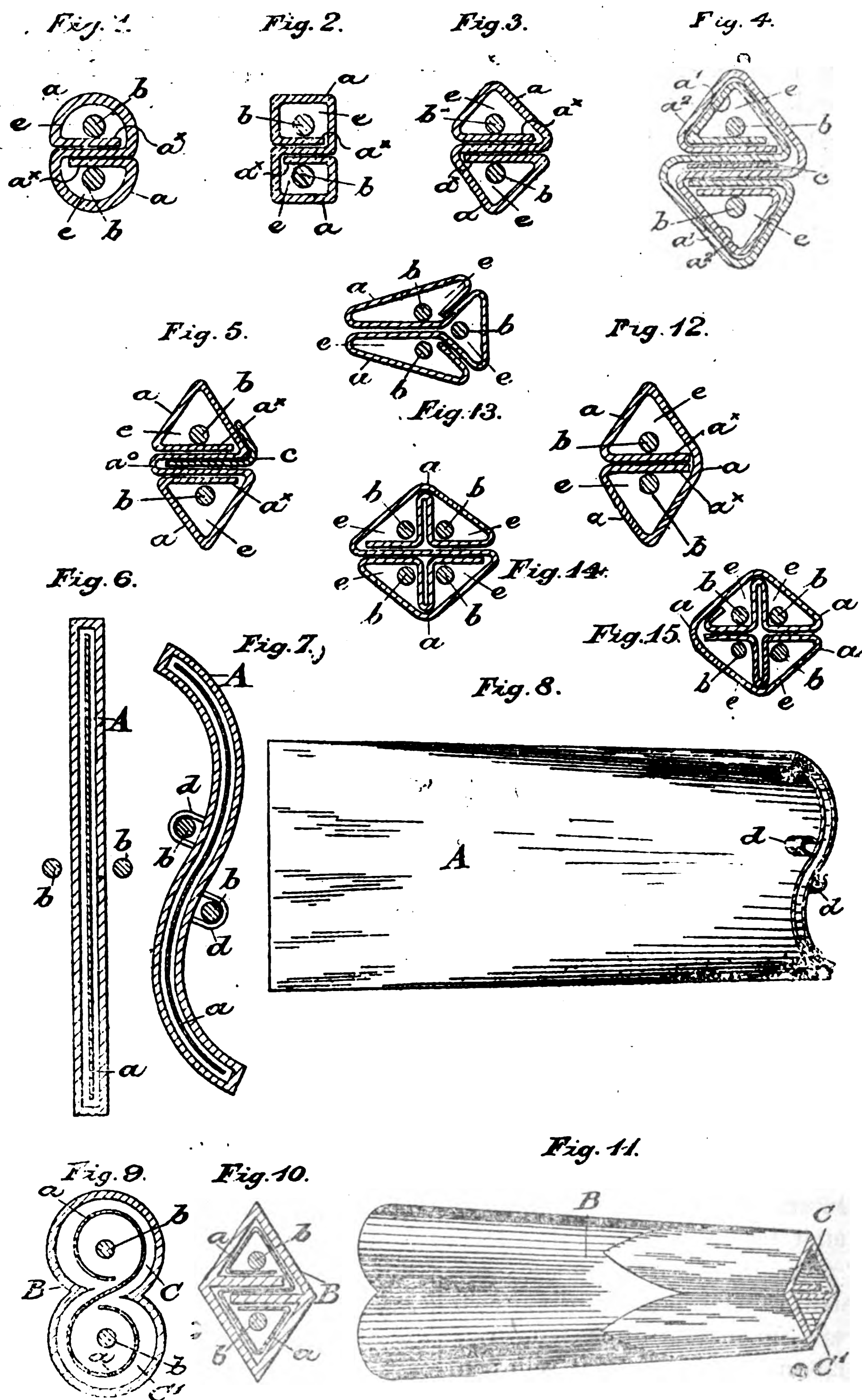


Fig. 1 à 15. — Conducteurs isolés *Felters* et *Guillaume* (1895)

tique triangulaire est plus compacte. On peut aussi, comme en fig. 4, employer deux enve-

loppes isolantes a_1 a_2 avec feuillard métallique interposé c, soit aussi comme en a_0 (fig. 5).

L'on emploie pour la fabrication de ces câbles un outil A à section en S, en C, en W correspondant à la forme de l'isolant a a_1 a_2 et pourvu de deux guides d d pour les fils b b; guidé par A l'isolant a passe dans le mandrin B (fig. 9 à 11) qui le plie à la forme voulue tout en guidant les fils b b en C C. L'outil A doit être séparé de B d'une longueur telle que la feuille isolante y pénètre naturellement, puis en sorte sans peine grâce à la conicité de B.

Les deux pièces A et B tournent à l'unisson de manière à tordre la feuille et les vides c e en hélice.

Le cloisonnement peut aussi se faire comme en figure 12 par la simple superposition des lèvres a a et s'étendre, comme l'indiquent les figures 14 et 15, à 3 et 4 conducteurs.

G. R.

Sur la mesure de la résistance des joints pour rails de tramways, par Harold P. Brown (1).

Pour mesurer la résistance introduite dans le circuit de retour d'un tramway électrique par les joints des rails, M. Brown a proposé la méthode suivante qui a été employée avec succès par M. J. K. Brooks, sur la ligne de Niagara Falls and Lewiston Railroad Company.

Deux voitures de tramways furent rigidement reliées de façon que la distance entre les points de contact des roues d'arrière de la première voiture avec les rails et les points de contact des roues d'avant de la seconde voiture fut de 28 pieds exactement (8,55 m). Les deux trucks furent connectés par un fil isolé dans lequel était intercalé un voltmètre très sensible. Un voltmètre pour grandes différences de potentiel était intercalé entre le trôlet et les rails, un ampèremètre était introduit dans le circuit des moteurs. Les freins de la seconde voiture furent serrés jusqu'à ce que l'intensité du courant étant de 100 ampères, la vitesse fut de 5 km à l'heure au maxima. Les lectures pouvaient être ainsi faites aisément, en raison de la valeur élevée du courant et de la durée relativement longue des indications.

(1) *Street Railway Journal*, avril 1896, p. 257.

Les rails sont posés par bouts de 30 pieds (9,144 m) de longueur et, sur chaque voie, les joints du rail de droite sont en face du milieu du rail de gauche. Quand l'équipage ci-dessus est en marche, on voit que, à un moment donné, les deux roues de contact, à gauche, sont sur un même rail, tandis qu'un joint est compris entre les deux roues de droite.

L'écartement des roues étant de 28 pieds et la longueur du rail de 30 pieds, il en sera ainsi jusqu'à ce que, l'équipage ayant effectué un parcours de 2 pieds, un joint se trouve compris entre les roues de gauche et un entre les roues de droite. Lorsque la voiture aura parcouru 13 pieds de plus, les roues de droite seront sur un même rail, tandis qu'un seul joint sera entre celles de gauche. Il y aura donc alternativement 1 et 2 joints compris entre les roues de contact. Les lectures du voltmètre permettent de déterminer les chutes de potentiel correspondantes et, partant, les résistances.

On a ainsi trouvé que chaque joint provoquait une chute de potentiel de 0,005 volt avec un courant de 100 ampères.

G. P.

Ampèremètre Siemens et Lauckert (1895).

Cet appareil consiste essentiellement en un solénoïde ou en une barre recourbée L parcourue par le courant à mesures et traversée par un barreau aimanté courbe C pivoté sur son axe A et pour le rendre astatique ; on a monté sur ce même axe un second aimant B parallèle identique et de pôles opposés à ceux de A de sorte que les actions de L sur C et B s'ajoutent (fig. 1 et 2).

Pour les courants changeant de sens on

emploie (fig. 3) deux aimants D et E à pôles N et S en regard suivant le sens du courant

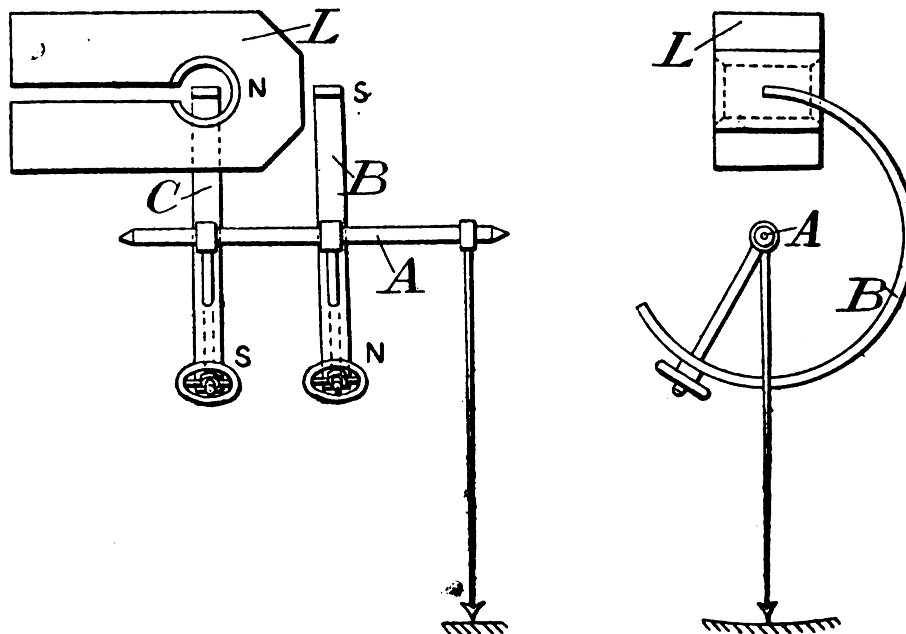


Fig. 1. — Ampèremètre *Siemens* et *Lauckert* (1895).

L attire D et repousse E ou inversement de

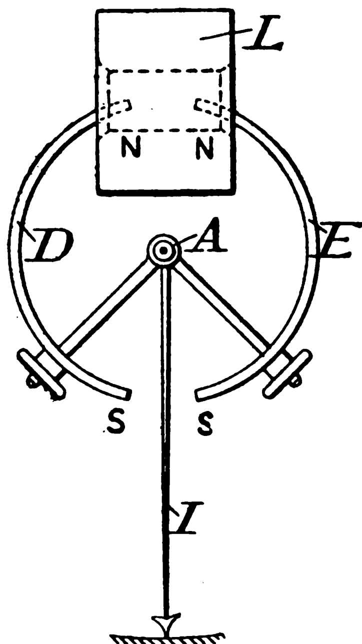


Fig. 2. — Ampèremètre *Siemens* et *Lauckert* (1895)

sorte que l'aiguille I indique à la fois le sens et l'intensité du courant.

G. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Société Internationale des Electriciens

Séance du 3 juin 1896

Au début de la séance, M. *Grosselin* présente une observation très intéressante au sujet de la méthode de mesure des grandes résistances que M. Picon a décrite dans la séance précédente (¹). On se souvient que le câble à essayer est plongé dans une cuve remplie d'eau ; son armature est reliée à un pôle d'une pile ; l'eau de la cuve est reliée au second pôle et un condensateur est intercalé dans cette dernière partie du circuit ; au bout d'un certain temps, on décharge le condensateur dans un galvanomètre balistique, ce qui permet de mesurer la quantité

$$Q = I\,t = \frac{E}{R}\,t$$

et par conséquent R.

(¹) *L'Éclairage Électrique* du 6 juin, p. 469.

M. Grosselin fait remarquer que, dans cette formule, on néglige la capacité du câble lui-même, quantité qui n'est pas négligeable. Le câble se charge d'une quantité d'électricité

$$q = cv$$

c étant sa capacité et v le potentiel de la source ; comme le câble et le condensateur étalon sont en série, celui-ci se chargera aussi d'une quantité d'électricité $q = cv$ indépendemment de la charge qu'il reçoit par conduction.

La quantité d'électricité qui est mesurée dans le galvanomètre balistique est donc

$$Q = q + q' = cv + It$$

Pour se rendre compte de l'importance de cette correction, M. Grosselin cite quelques exemples tirés de la pratique, et que nous résumons dans le tableau suivant :

Nature des câbles	Section en mm²	Capacité km en microcoulombs	Isolement km en megohms	Charge statique du câble en microcoulombs	Charge du condensateur après 10 minutes en microcoulombs
Haute tension	20	0,12	5 000	0,024	0,024
Basse tension	31	0,37	3 000	0,074	0,040
500 volts	400	0,7	3 000	0,14	0,040
Colonne montante	150	0,8	2 000	0,16	0,060

Les chiffres contenus dans les deux dernières colonnes de ce tableau ont été calculés en admettant que la longueur du câble essayée soit de 1 m et que v soit égal à 200 volts. On voit que, dans tous ces exemples, la charge statique du câble $q = cv$ est beaucoup plus grande que la quantité $q' = It$ dont se charge le condensateur et que par conséquent la méthode conduit à des valeurs de la résistance d'isolement beaucoup trop faibles.

On peut éliminer cette cause d'erreur en prenant sur le même câble deux mesures successives de durées différentes. On a alors

$$Q_1 - Q_2 = I(t_1 - t_2),$$

mais la mesure devient très longue.

En outre, la méthode suppose que l'isolement du condensateur employé est parfait, c'est à dire qu'il conserve pratiquement toute la charge qu'on lui donne. Malheureusement les condensateurs industriels sont souvent mal isolés, ce qui introduit une seconde cause d'erreurs qu'on ne peut éliminer. M. Grosselin accorde donc la préférence à la méthode de la perte de charge, beaucoup plus rapide et plus exacte.

M. *Bochet* revient, à propos de la communication de M. Potier faite dans la dernière séance, sur les considérations qui ont conduit les électriciens américains et anglais à conseiller de relier le pôle négatif aux rails de préférence au pôle positif.

On sait que, dans ces conditions, si la différence de potentiel entre deux points du rail devient suffisamment grande, et qu'une dérivation se produise à la terre en passant par une canalisation métallique voisine, cette canalisation ne sera pas attaquée au point d'entrée du courant, qui est éloigné de l'usine ; le point d'attaque sera reporté près de l'usine ; la localisation des points où les accidents peuvent se produire facilite la surveillance.

M. Bochet fait ressortir une autre cause qui milite en faveur de cette pratique : lorsque les rails sont reliés au pôle négatif, les canalisations voisines ont la même polarisation par rapport au conducteur aérien et à ses feeders. Si donc un défaut d'isolement vient à se produire sur cette partie du réseau, le courant dérivé à la terre pénétrera dans ces canalisations, auprès du défaut, sans qu'il en résulte aucune corrosion électrolytique sur ces canalisations ; comme dans le cas précédent les points où les accidents peuvent se produire sont localisés près de l'usine.

M. Bochet expose ensuite une méthode de calcul qui permet de déterminer la section la plus avangeuse à donner aux conducteurs lorsque, la perte de charge ne pouvant être librement choisie, la loi de Kelvin n'est pas applicable. C'est le cas, par exemple, d'une distibution d'éclairage par lampes à incandes-

cence, avec branchements en dérivation. La condition à réaliser, c'est alors que la perte de charge entre la source et l'extrémité la plus éloignée de chaque conducteur soit égale à une quantité donnée. Le problème, dont la solution générale est trop compliquée, peut, en général, être ramené à deux cas simples.

1° On a un conducteur principal de longueur l, à l'extrémité duquel sont branchés n conducteurs de longueurs $l_1, l_2, l_3, \dots l_n$. Les intensités respectives des courants circulant dans chaque conducteur sont $i, i_1, i_2, i_3 \dots i_n$. Il faut déterminer les sections $x, x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ de ces conducteurs de façon que la perte de charge réponde aux conditions énoncées plus haut, et que la dépense en cuivre soit minima.

Le principe de la méthode est très simple. On commence par exprimer que la perte de charge entre la source et l'extrémité de chaque conducteur est constante, ce qui conduit à n équations

$$e = \rho\left(\frac{l\,i}{x} + \frac{l_1\,i_1}{x_1}\right) = \dots\dots = \rho\left(\frac{l\,i}{x} + \frac{l_n\,i_n}{x_n}\right),$$

lesquelles permettent de déterminer x_1, x_2, x_n en fonction de x. En substituant ces valeurs dans l'équation

$$\mathrm{P} = c\,(l\,x + l_1\,x_1 + l_2\,x_2 + \dots\dots + l_n\,x_n),$$

qui donne le poids total des conducteurs, on obtient une équation en x dont on détermine le minimum en égalant sa dérivée à zéro, ce qui conduit à la valeur

$$x = \frac{l}{i}\left(l\,i + \sqrt{i\,(l_1^2\,i_1 \dots + l_n^2\,i_n)}\right),$$

qui permet, en remontant aux équations premières, de déterminer $x_1, x_2, \dots x_n$.

La méthode employée d'ordinaire pour ces calculs est celle de la densité constante. M. Bochet cite un exemple pour bien faire comprendre l'avantage qu'il y a à adopter la méthode qu'il expose plutôt que la précédente. L'économie réalisée sur le cuivre est alors de 33 pour 100.

2° Dans ce cas, on suppose un conducteur continu divisé en n sections ; à l'extrémité de chacune d'elles sont branchés d'autres conducteurs. On commence par déterminer les intensités des courants qui parcourent chaque section, du conducteur principal et on calcule le poids minimum de cuivre des conducteurs principaux. Le calcul des branchements est alors ramené au cas précédent.

La méthode de calcul des conducteurs principaux est un peu différente de la précédente.

On n'a alors que deux équations, la première donnant le poids

$$\mathrm{P} = c\,(l\,x + l_1\,x_1 + \dots\dots + l_n\,x_n)$$

des conducteurs, et la seconde

$$e = \rho\left(\frac{l\,i}{x} + \frac{l_1\,i_1}{x_1} + \dots\dots + \frac{l_n\,i_n}{x_n}\right),$$

donnant la perte de charge totale.

Le minimum de P sera donné pour $d\,\mathrm{P} = 0$; la seconde équation fournit une autre équation différentielle. Ces deux équations doivent être satisfaites pour les mêmes valeurs des inconnues. En les identifiant, on obtient les valeurs de $x, x_1, \dots x_n$

$$x = \sqrt{i} + \frac{\rho}{e}\,(l\sqrt{i} + \dots\dots + l_n\sqrt{i_n})$$

$$x_n = \sqrt{i_n} + \frac{\rho}{e}\,(l\sqrt{i} + \dots\dots + l_n\sqrt{i_n}).$$

M. Bochet explique l'emploi de tableaux des valeurs de $\sqrt{i}$ qui facilitent l'application pratique de cette formule, et, comme dans le cas précédent, cite un exemple démontrant l'avantage de cette méthode de calcul, qui conduit à une économie de 25 pour 100 par rapport à la méthode de la densité constante.

Il est évident que les chiffres trouvés ne doivent être appliqués que si les densités de courant qui en résultent ne sont pas dangereuses au point de vue de l'échauffement.

M. *Laffargue* décrit ensuite l'usine génératrice au secteur de la rive gauche. Cette description a déjà été publiée dans *L'Éclairage Électrique* (N° du 1er février 1896, page 194). Nous retiendrons seulement de cette communication la description des installations de la Sorbonne ; le courant continu devait être employé, et la distribution est faite par courants alternatifs. On a donc disposé un moteur synchrone qui actionne une génératrice

à courant continu. Comme le démarrage ne pouvait s'effectuer convenablement, on a adjoint au premier moteur un petit moteur asynchrone pour la mise en marche.

A la suite de cette communication, M. G. Sciama demande si l'on a effectué des essais de couplage en parallèle des alternateurs. M. Laffargue ne croît pas que cela ait encore été nécessaire. M. Korda et M. Bachet disent avoir assisté plusieurs fois à des expériences de couplage en parallèle de différents alternateurs qui ont toujours très bien réussi. M. Dieudonné croit que certains détails d'aménagement sont critiquables et demande que les membres de la Société puissent visiter l'usine d'Issy.

M. *Tainturier* décrit ensuite les installations du tramway électrique de la place de la République à Romainville. Cette communication hâtivement préparée ne contient rien qui n'ait été décrit dans nos colonnes.

G. P.

Sur le rôle du noyau de fer dans les machines dynamo-électriques. Réponse à la note de M. Potier ; par Marcel Deprez (1).

« *a*. L'expérience que j'ai décrite dans ma précédente Communication n'est, suivant M. Potier, que la reproduction schématique de faits acquis et utilisés industriellement. C'est bien possible, toute expérience scientifique n'étant que la reproduction schématique de faits mis à profit dans l'industrie. Il y a cependant une différence essentielle entre le dispositif de mon appareil et celui auquel M. Potier fait allusion : c'est que, dans mon appareil, le tube de fer se meut dans un champ uniforme, ce qui est exactement le contraire de ce qui a lieu dans les machines citées par M. Potier.

» *b*. Je n'ai jamais attaqué les lois classiques de l'induction, comme paraît le croire M. Potier ; bien au contraire, je les applique plus strictement que lui-même, comme je le montrerai tout à l'heure. La proportionnalité entre la force électromotrice et la variation du flux de force total embrassé par un circuit fermé est d'ailleurs *une conséquence* des lois fondamentales de l'induction exercée sur un élément de circuit quand on admet (comme l'ont fait expressément tous les savants qui, les premiers, ont formulé ces lois) que l'élément *est coupé* par les lignes de force. C'est à tort que l'on cherche maintenant à donner cette conséquence comme étant la loi fondamentale de l'induction. Cette manière de procéder ressemble à celle qui consisterait à considérer les théorèmes généraux de la Mécanique rationnelle (Théorème des forces vives, Théorème des aires, Théorème du mouvement du centre de gravité, etc.), non comme des conséquences des principes fondamentaux de la Dynamique, mais comme étant eux-mêmes des principes qui rendent les premiers inutiles. M. Bertrand a donné de l'abus que l'on fait maintenant de ces théorèmes généraux un exemple saisissant dans sa *Thermodynamique* (1).

» La règle de la proportionnalité entre la force électromotrice d'induction et la variation du flux magnétique total embrassé par le circuit est donc une conséquence et non un principe ; elle est d'ailleurs d'un usage extrêmement commode quand on veut trouver immédiatement la valeur de la force électromotrice développée dans un circuit fermé sans se donner la peine de chercher quelle est la part contributive de chaque portion du cir-

(1) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1159 ; séance du 25 mai.

(1) ... Un calorifère brûle beaucoup de charbon. La maison, que cependant il chauffait très mal, s'écroule tout à coup ; que s'est-il passé ? L'explication est aisée, répond un philosophe fier de pouvoir démontrer en quelques minutes tous les principes de la Physique : « La force est immuable, la chaleur qui n'échauffait pas s'est transformée en travail. La chute de la muraille confirme la théorie, il n'y a pas d'autre cause à chercher. » On cherche cependant et l'on découvre quelques barres de fer qui, dilatées par les conduits du calorifère, ont dérangé les pierres du mur écroulé. La chaleur, il l'avait bien dit, s'est transformée en travail. Mais, dans l'explication, les barres de fer, ne lui en déplaise, auraient mérité une mention. (J. BERTRAND, *Thermodynamique*).

cuit à la production de cette force électromotrice.

» Ce n'est donc ni des lois classiques de l'induction ni de leurs conséquences qu'il s'agit ici, mais des explications hypothétiques que l'on donne habituellement du rôle que joue le noyau de fer de l'induit.

» *c*. M. Potier dit que mon expérience ne contredit qu'en apparence la règle qui attribue à chaque élément du fil induit une force électromotrice proportionnelle au flux coupé par cet élément. Je suis absolument de son avis, car plutôt que d'admettre que cette règle pût être en défaut, je n'ai pas hésité à rejeter l'*hypothèse classique*, d'après laquelle les lignes de force du champ, ne pénétrant pas à l'intérieur du tube, ne sauraient *couper* le fil induit. J'ai donc été conduit à formuler l'opinion contraire et à admettre que les lignes de force du champ extérieur au tube traversent celui-ci comme s'il n'était pas magnétique ; mais, en le traversant, elles le transforment en aimant et créent ainsi un nouveau champ magnétique dont les lignes de force se propagent dans l'espace sans troubler celles du champ primitif et sans en être troublées. Une masse magnétique égale à l'unité, placée en un point quelconque de l'espace extérieur ou intérieur au tube, est donc sollicitée par une force représentée en grandeur et en direction par la résultante des forces dues à chacun des deux champs ; c'est ce que j'appelle l'intensité du champ résultant, le seul que l'on puisse constater avec une aiguille aimantée ou avec un fantôme magnétique. La *loi* fondamentale de l'induction, que mon expérience confirme complètement, bien loin de la contredire, permet, au contraire, de séparer les effets produits par chacun des deux systèmes de lignes de force.

Il suffit pour cela de rendre le fil induit solidaire de celui des deux systèmes magnétiques dont on veut éliminer l'effet. La force électromotrice d'induction étant en effet proportionnelle à la vitesse *relative* du fil et du système magnétique, s'annule lorsque le système et le fil sont solidaires. Mais, pour que ce procédé soit applicable, il ne faut pas que le déplacement relatif des masses magnétiques qui font corps avec le fil et de celles qui en sont restées indépendantes entraîne des variations dans la grandeur de leur flux de force individuel.

» C'est ce principe qui est appliqué dans mon expérience. Le tube transformé en aimant par le champ inducteur dans lequel il est placé possède un champ propre qui, à l'intérieur, est de signe contraire à celui du champ inducteur. Le champ résultant que l'on constate à l'intérieur du tube est donc beaucoup plus faible que le champ extérieur ; il peut même être nul si le tube est très épais. Une aiguille aimantée, placée dans l'intérieur du tube, ne serait donc soumise qu'à un couple très faible. C'est ce fait qu'on exprime journellement en disant qu'une cage de fer *fait écran* et empêche les lignes de force d'un champ magnétique extérieur de pénétrer à l'intérieur et on l'explique par les propriétés conductrices du fer à l'égard des lignes de force magnétique. Dans ma théorie, au contraire, les deux systèmes de lignes de force coexistent ; ils produisent des efforts égaux et de signe contraire sur une masse magnétique, mais peuvent se révéler séparément par la force électromotrice d'induction qu'ils produisent sur un élément de circuit animé d'un mouvement relatif par rapport à l'un d'eux.

» M. Potier admet comme moi que le champ magnétique résultant est nul au centre du tube quand celui-ci est très épais, mais, n'admettant pas la coexistence des deux systèmes de lignes de force, il essaye d'expliquer l'induction en disant que « le champ magnétique » n'est pas invariable en grandeur et en direction en tout point de l'espace, parce qu'il » est modifié à chaque instant par le déplacement du tube de fer doux ». Il serait facile de prouver que cette modification continuelle du champ par le déplacement d'un tube de fer *aimanté d'une manière permanente* ne peut pas produire de force électromotrice d'induction. Mais il y a une objection beaucoup plus forte à l'explication proposée par M. Potier.

» Comment le fil peut-il être le siège d'une force électromotrice développée par la variation d'intensité d'un champ dont les lignes de force ne le coupent pas puisque, d'après M. Potier lui-même, le champ magnétique à l'intérieur du tube est constamment nul lorsque le tube est suffisamment épais ? Le champ extérieur dont les variations continuelles engendrent, suivant M. Potier, la force électromotrice constatée agit donc *à distance* sur le fil dans une région de l'espace où ce champ n'existe pas ?

» Si l'on veut éviter le retour aux actions à distance, et si l'on veut éviter d'admettre avec moi que les lignes de force du champ traversent le fer comme s'il n'était pas magnétique, je ne vois qu'une troisième explication : c'est de considérer le siège de la force électromotrice comme étant situé, non pas dans le fil mobile, mais dans les autres portions du circuit électrique. Elle satisferait d'ailleurs parfaitement à la règle invoquée dans le paragraphe (*a*) de la Note de M. Potier, mais elle soulèverait d'autres objections et je n'insiste pas sur ce point.

» Il est presque inutile, après les détails dans lesquels je viens d'entrer sur la manière dont j'explique le rôle du tube de fer doux, de dicuter les paragraphes (*d*) et (*e*) de la Note de M. Potier. Je me propose d'ailleurs d'examiner à fond, dans une prochaine Communication, le rôle du noyau de fer dans les machines du genre Pacinotti, aussi bien lorsque l'on considère cette machine comme produisant une force électromotrice que lorsqu'on l'étudie au point de vue des efforts mécaniques développés par le passage d'un courant. J'aurai alors l'occasion de revenir sur les points traités dans ces deux paragraphes ».

Sur les lois de l'induction. Réponse à M. Marcel Deprez; par A. Potier (¹).

« M. Marcel Deprez admet dans sa dernière Note : 1° que la production d'une force électromotrice dans un circuit, alors même que celui-ci est entouré de fer doux, était déjà connue ; 2° que la relation entre la force électromotrice induite et la variation du flux est bien celle qui est admise aujourd'hui par tous, qu'elle est toujours vérifiée et qu'elle est, de plus, d'un usage extrêmement commode.

» Notre savant Confrère voudra sans doute bien admettre aussi que si le flux embrassé est la somme de deux parties, l'une constante, l'autre variable, on peut, dans le calcul de la force électromotrice induite, ne pas s'occuper de la première ; ce qui revient à ne pas faire entrer en ligne de compte les circuits (et masses magnétiques fictives) invariablement liés au circuit induit, quand les intensités correspondantes sont invariables. Cette décomposition du flux en plusieurs termes présente le même arbitraire que la décomposition d'une force en ses composantes ; mais elle n'est pas plus nouvelle.

» M. Marcel Deprez refuse à la loi *physique* de la proportionnalité de la force électromotrice induite à la variation du flux, le caractère d'une loi fondamentale ; c'est cependant la seule que l'expérience puisse contrôler ; il est vrai qu'elle n'est pas une loi *élémentaire*, qu'elle ne précise pas ce que M. Marcel Deprez appelle « le siège de la force électromotrice ». Ce point n'avait pas été touché par M. Marcel Deprez dans sa première Note. Je me suis abstenu d'en parler, aussi bien que de parler de flux *coupé* par un élément de circuit ; je n'ai pas cherché à donner d'*explication* de cette loi.

» Notre savant Confrère désire éviter le retour aux actions à distance ; il désire donc déduire l'état actuel d'un point du champ et des conducteurs qui s'y trouvent, de l'état immédiatement antérieur de ce point et des régions infiniment voisines, autrement dit des vitesses et de la distribution des forces dites *électrique* et *magnétique*. Aucun autre élément ne doit entrer en jeu dans une explication rationnelle, et c'est retouner aux actions à distance que de distinguer deux composantes dans une force magnétique, et de les traiter différemment suivant l'*origine* attribuée à ces composantes. »

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1239, séance du 1er juin 1896.

Sur un nouvel électrolyseur, par D. Tommassi (1).

L'électrolyseur que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie se compose d'une cuve rectangulaire dans laquelle plonge une paire d'anodes. Au milieu de ces anodes est disposée la cathode, laquelle est constituée par un disque métallique fixé à un arbre de bronze pouvant être animé d'un mouvement de rotation. Le disque ne plonge pas entièrement dans le bain, mais seulement d'un segment de telle sorte que chaque portion de la zone plongeante se trouve alternativement dans l'air et dans le liquide qui sert d'électrolyte.

» La partie du disque qui émerge du liquide de la cuve passe, par suite de son mouvement de rotation, entre deux frotteurs en forme de racloirs, lesquels ont pour but non seulement d'enlever le dépôt spongieux au fur et à mesure de sa production, mais encore de dépolariser la surface du disque.

» Des rigoles convenablement disposées rassemblent et reçoivent le métal détaché du disque et l'amènent dans des récipients où il est recueilli.

» Les anodes peuvent être sous forme de plaques ou à l'état de poudre grossière. Les plaques s'obtiennent en fondant le métal, l'alliage ou le minerai (lorsque celui-ci est fusible, certains sulfures par exemple) et le coulant dans un moule approprié. Lorsque les corps doivent être au contraire employés à l'état granulé, on les tasse simplement dans des récipients perforés au milieu desquels on a introduit préalablement une lame métallique qui sert de conducteur.

» Les avantages que présente cet électrolyseur peuvent se résumer ainsi :

» 1° La polarisation est totalement supprimée :

» *a*. Par la rotation du disque qui constitue la cathode ;

» *b*. Par le frottement des racloirs contre les faces opposées du disque, opération qui favorise le départ de l'hydrogène ;

» 2° Le métal qui se précipite sur le disque est enlevé au fur et à mesure qu'il se dépose, d'où les avantages suivants :

» *a*. Le métal étant continuellement soustrait à l'action oxydante du liquide du bain n'est plus sujet à être attaqué et, par conséquent, à former des couples locaux dont le courant est dirigé en sens inverse du courant principal ;

» *b*. Diminution considérable de la résistance électrique du bain, puisque l'on peut rapprocher aussi près que possible les anodes des cathodes, sans qu'il puisse se produire entre elles des courts-circuits, toujours nuisibles dans toute décomposition électrolytique ;

» *c*. Économie considérable du courant électrique due à la diminution de la résistance du bain, par suite du rapprochement possible des électrodes entre elles.

« 3° La densité des diverses couches du liquide traversé par le courant électrique est partout la même, grâce à la rotation continue du disque qui les agite et les mélange sans cesse, et par conséquent empêche le liquide de se saturer vers le fond et de s'appauvrir dans les régions supérieures du bain, comme cela a lieu toujours dans les électrolyseurs ordinaires où le liquide est en repos. »

(1) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1122 ; séance du 18 mai.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages reçus

Die Grundlehren der Elektricitat, par W. Ph. Hauck. 1 volume in-16 de 300 pages. — *A. Hartleben*, éditeur, Vienne.

Transformateurs à courants alternatifs, par Gisbert Kapp, traduit par A. Dubsky et G. Chenet. 1 volume in-8 de 255 pages. — *Baudry et Cie*, éditeurs, Paris.

Courants polyphasés, par Silvanus Thompson, traduit par E. Boistel. 1 volume grand in-octavo de 298 pages. — *Baudry et Cie*, éditeurs, Paris.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Paris. — *Traction*. — Un avis du Préfet de la Seine inséré au *Bulletin municipal officiel* du

19 mai prévient le public qu'une enquête est ouverte du lundi 28 mai au jeudi 18 juin 1896, dans chacune des vingt mairies de Paris et à l'Hôtel-de-Ville (bureau de la voie publique), sur un avant-projet de chemin de fer métropolitain autonome, à voie étroite et à traction électrique, comportant l'établissement des lignes ci-après :

1° Ligne circulaire ayant les extrémités de l'un de ses diamètres à la place de l'Etoile et à la place de la Nation, franchissant la Seine, d'une part, au pont d'Austerlitz, d'autre part, à la tête de l'île des Cygnes où se trouve aujourd'hui la passerelle de Passy.

2° Ligne transversale allant de l'ouest à l'est, soit de la Porte-Maillot au point où le chemin de fer de Ceinture traverse en souterrain l'avenue Gambetta, dans le XX° arrondissement, et passant aux places de l'Opéra, de la Bourse et de la République.

3° Ligne transversale allant du nord au sud, soit de la porte de Clignancourt à la Porte d'Orléans, passant par les rues des Halles, traversant la Seine dans le prolongement de la rue du Louvre, et empruntant des sections à ouvrir de la rue de Rennes et du boulevard Raspail.

4° Ligne reliant la transversale nord-sud à la ligne circulaire du boulevard de Strasbourg au pont d'Austerlitz, en passant par le boulevard de Magenta, la place de la République, le boulevard Richard-Lenoir, la place de la Bastille et le boulevard de la Contrescarpe.

Variantes. — Pour la ligne circulaire, tracé allant de l'avenue Daumesnil au pont d'Austerlitz directement par le boulevard Diderot.

Pour la transversale nord-sud, tracé empruntant les boulevard de Sébastopol, du Palais et Saint-Michel, jusqu'aux environs de la ligne de Sceaux prolongée, puis traversant le sous-sol du Luxembourg, pour aboutir boulevard Raspail, près du cimetière du Sud.

Lignes additionnelles. — A. Ligne extérieure à la circulaire allant de la place de la Nation à la place d'Italie, par les boulevards de Picpus, de Reuilly, de Bercy et de la Gare.

B. Ligne transversale est-ouest allant de Vincennes au Bois de Boulogne, en passant par les quais de la rive droite.

En conséquence, les pièces de cet avant-projet seront déposées dans chacune des vingt mairies de Paris et à l'Hôtel-de-Ville (bureau de la voie publique), tous les jours de 11 heures du matin à 4 heures du soir, excepté les dimanches et jours fériés.

Par arrêté préfectoral en date du 27 mai 1896 le public est prévenu qu'une enquête a été ouverte judi 4 juin au samedi 4 juillet 1896 sur le principe de la substitution de la traction mécanique à la traction animale sur les lignes de tramways exploitées tant à Paris que dans les autres communes du département de la Seine et desservies par des chevaux.

En conséquence les pièces du dossier seront déposées à la Préfecture de la Seine, 1° au bureau des Travaux Publics du département et des communes à l'Hôtel-de-Ville ; 2° au bureau des Domaines de la Ville (annexe est de l'Hôtel-de-Ville à l'entresol) et dans les mairies des vingt arrondissements de Paris, ainsi que dans celles des communes du département de la Seine, tous les jours de 11 heures à 5 heures excepté les dimanches et jours fériés.

Toute personne intéressée relativement aux projets mentionnés dans ces deux arrêtés est invitée à consigner ses observations sur des registres qui seront ouverts à cet effet aux endroits ci-dessus désignés.

Mansle (*Charente*). — *Éclairage*. — Le Conseil Municipal de Mansle vient d'adopter en principe la lumière électrique pour l'éclairage de la ville. Une concession de vingt ans sera accordée à M. Clavé, propriétaire des grands moulins de la Terne près de Luxé.

Narbonne. — *Éclairage*. — L'éclairage électrique fait chaque jour de nouveaux progrès et tend à se généraliser un peu partout en France.

C'est ainsi que les villes du Midi, ne voulant pas être en arrière dans la voie du progrès se signalent chaque jour par de nouvelles installations. La compagnie du gaz de la ville de Narbonne ayant refusé de transformer son mode d'éclairage et ayant sur ce point laissé toute liberté à la ville, l'administration municipale a traité avec la Société méridionale d'électricité.

Par le traité convenu de gré à gré, la Société s'engage, moyennant le prix forfaitaire annuel, à éclairer la ville de Narbonne pendant une période de 30 années. Pendant les 10 premières années, les établissements communaux seront éclairés gratuitement et l'installation des appareils sera faite aux frais de la Société.

Le soumissionnaire est M. Estrade, directeur de la Société méridionale. Il devra fournir un cau-

tionnement de 25 000 fr d'inscriptions hypothécaires.

La Société s'engage à installer, sur les boulevards, quais et principales voies 56 lampes à arc de 10 ampères et, pour l'éclairage des rues, 764 lampes à incandescence d'un pouvoir éclairant de 16 bougies chacune.

Actuellement, l'éclairage représente 9 000 bougies ; il en représentera 45 000 avec le nouveau traité.

Les particuliers paieront à l'avenir un maximum de 9 centimes l'hectowatt, au lieu de payer 12 centimes le m³ de gaz.

En échange de ces concessions, la Société d'électricité demande que le privilège de l'éclairage électrique lui soit exclusivement réservé ; la Compagnie du Gaz pourra, comme par le passé, fournir aux particuliers son mode d'éclairage.

Ce traité a été approuvé par le Conseil.

Poitiers. — Traction. — La Municipalité vient de décider l'installation d'une ligne de tramways électriques allant de la gare au faubourg du Pont-Neuf, en passant par la place d'Armes et le faubourg de la Tranchée.

Pontivy (Morbihan). — Traction. — Dans la dernière séance du Conseil Municipal de Pontivy, le maire de cette ville a donné la lecture d'un rapport fait au nom de la Commission des finances au sujet de la question des tramways électriques. Ce rapport contient les deux propositions de MM. Cauderay et de Briançon relativement au système de tramway électrique à adopter ; soit celui de M. Cauderay, à fil aérien et trôlet ; ou celui de M. de Briançon avec fil souterrain (système Diatto) avec prises de courant de 6 m en 6 m.

Après lecture du rapport en question, le maire propose l'adoption du système Diatto, et fait connaître que M. de Briançon offre de verser à la ville une somme de 300 000 fr de garantie pour l'installation, le bon fonctionnement des appareils et de a ligne et en outre s'engage à verser un cautionnement de 100 000 fr comme garantie de l'exécution du traité.

Le Conseil appelé à délibérer sur les deux propositions a accepté à l'unanimité le projet de M. de Briançon.

Les conditions principales du traité sont : la concession du traité durera 40 ans (sans créer de monopole) ; M. de Briançon versera un cautionnement de 100 000 fr plus 300 000 fr pendant 6 mois pour garantir le bon fonctionnement de son système ; ils installera trois lignes de tramways, allant de la place Alsace-Lorraine à Kériado, à Kerjulande et à la Perrière. Il établira une ligne aboutissant à un point de la côte sur le territoire de Plœmeur. Le coût du voyage sur le territoire de Lorient sera de 10 centimes avec correspondance gratuite de ligne à ligne.

Saint-Malo. — Éclairage. — Nous apprenons que la Compagnie du gaz a l'intention d'organiser une station électrique à Saint-Malo.

Cette station sera située dans les environs de la place Châteaubriand ou sur le terre-plein des Ecluses. Elle fonctionnera au moyen de moteurs à gaz et sera inaugurée, croyons-nous, dans les premiers jours de juillet prochain.

Les hôtels et cafés de Saint-Malo, les principaux magasins ont déjà demandé la substitution de la lumière électrique au gaz pendant l'été. Ce sera, nous assure-t-on, chose faite pour beaucoup dès l'été prochain.

DIVERS

Conversion de l'émeri en corindon. — Nous lisons dans le *Trade Journal Review* qu'un brevet vient d'être pris pour un procédé de conversion de la poudre d'émeri en corindon au moyen de l'arc à courant alternatif. On a préféré le courant alternatif au courant continu parce que pour cette conversion la chaleur seule est nécessaire et non la décomposition. Le four électrique en briques réfractaires est construit à deux étages ; l'étage supérieur sert à effectuer la conversion, l'étage inférieur sert au refroidissement de la masse fondue. Une ouverture pratiquée au centre de la cloison qui sépare les deux étages livre passage à la matière en fusion.

Les électrodes, formées de plaques de charbon assemblées entre elles, occupent la partie supérieure du four proprement dit ; elles sont rapprochées à une distance d'environ 4 à 5 cm l'une de l'autre et leur intervalle est alors rempli de petits fragments de charbon. L'émeri, en poudre très fine, qui ne peut servir à aucun autre usage, est mélangé avec du charbon pulvérisé en proportion dépendant de la quantité d'oxyde de fer contenu dans l'émeri, soit environ 5 pour 100 de charbon pour 25 pour 100 de l'oxyde contenu dans l'émeri et on remplit le four de ce mélange.

Au début de l'opération le charbon comblant

l'espace entre les électrodes est rapidement brûlé par l'oxygène de l'oxyde de fer et l'arc se forme. La masse fond sous l'action de la chaleur de l'arc et vient, une fois fondue, occuper le fond du récipient supérieur dont l'ouverture est recouverte d'une petite plaque de verre ; celle-ci fond par la chaleur de la matière en fusion et livre passage à cette dernière qui tombe dans le second récipient pour permettre de recharger le four à nouveau. Avant d'opérer une seconde charge il faut débarrasser les électrodes de la croûte très dûre qui les recouvre.

Le mélange est alors introduit et l'opération reprend son cours. Chaque opération dure environ 10 à 15 minutes. On saupoudre d'émeri le fond du récipent inférieur afin de le protéger contre la chaleur intense de la matière en fusion.

Le corindon produit ne contient presque pas d'eau, tandis que l'émeri avant la conversion en contient environ 5 pour 100.

Préparation électrique de la levure. — Le *Moniteur de Quesneville* nous apprend qu'un ingénieux chimiste de Vienne, M. Moller, vient de faire breveter un procédé de fabrication électrique de la levure. D'après son auteur, ce procédé éviterait toute fermentation acide, accessoire et parasitaire. Il consiste, en principe, à stériliser le moût par un courant électrique, puis à l'ensemencer avec de la levure également soumise, au préalable à l'action du courant.

Voici en quoi se résume l'opération :

Après la saccharification du moût, on fait refroidir celui-ci jusque vers 15 à 18° centigrades en le soumettant en même temps à l'action d'un courant de 5 ampères, qui tue toutes les bactéries ou germes apportés par l'air ou par les matériaux employés. A cet effet, on passe le moût dans un bac dont le fond est occupé par une plaque de métal, zinc, ou de préférence aluminium, reliée à l'un des pôles d'une source électrique, tandis que l'autre pôle communique avec une autre plaque conductrice maintenue à la surface du liquide. On peut aussi employer comme électrode le serpentin refroidisseur qui assure la circulation d'eau de refroidissement dans l'appareil.

La levure-mère provenant d'une opération antérieure est de son côté, exposée durant quelque temps à l'action du courant, jusqu'à ce que les bactéries qui ont pu s'y développer accidentellement soient en grande partie tuées. L'intensité du courant nécessaire est de 3 à 7 ampères, suivant la nature et la qualité de la levure qu'on veut obtenir ; certaines races de levure sont en effet plus sensibles que d'autres à l'action du courant électrique et se trouvent atteintes en même temps que les ferments étrangers par le courant électrique.

On sème la levure ainsi purifiée dans le moût stérilisé et, durant la fermentation qui se déclare rapidement, on continue à traiter le moût par un courant positif (la cellule négative étant séparée du moût par une cloison poreuse) d'intensité convenable. On obtient ainsi, paraît-il, un bon rendement en une levure remarquablement active, dont on peut directement prélever une partie pour ensemencer de nouveau moût stérilisé.

L'intensité du courant a été mesurée dans ces essais au moyen d'un galvanomètre à torsion de Siemens, interposé entre le générateur d'électricité et le bac de levure. Cet instrument permettait de déterminer la résistance propre du circuit et de connaître à chaque instant la tension du courant agissant sur la levure avec une force électromotrice de 5 à 6 volts.

La chaleur spécifique des solutions électrolytiques. — Une note très intéressante de Herr G. Tammann sur la chaleur spécifique des solutions électrolytiques vient d'être publiée dans le *Zeitschrift für Physikalische Chimie* ; en voici les points principaux. On sait que des solutions faibles de certains électrolytes ont une capacité calorifique plus faible que celle qu'avait l'eau dont ils se composent avant l'introduction d'un sel ; le but de cette recherche est d'établir les relations entre ce phénomène et la contraction de volume qui accompagne la dissolution. Cette contraction a été bien souvent attribuée à l'hypothèse d'une certaine pression moléculaire interne. L'auteur calcule la chaleur spécifique de l'eau contenue dans un nombre de solutions de cette classe en admettant que leur pression est celle que l'on déduit de cette hypothèse ; il trouve la chaleur spécifique de la substance dissoute en déduisant celle du mélange et en ajoutant les capacités thermiques des deux composants. Les valeurs théoriques ainsi obtenues concordaient étroitement avec les valeurs expérimentales trouvées en observant les solutions elles-mêmes. La conclusion admise par l'auteur serait que la contraction seule est la cause de la diminution de la chaleur spécifique qui se manifeste dans la dissolution.

L'exposition bavaroise d'électricité à Nuremberg. — Parmi les nombreuses machines et appareils électriques exposés à Nuremberg, on remarque, dans la galerie Schuckert et Cie, une installation en fonctionnement de transport de force par l'énergie électrique où les génératrices produisent un courant triphasé à 41 000 volts. On y voit également une transmission d'énergie par courant continu avec une seule génératrice de 3 000 volts. Le système Pallack pour la charge des accumulateurs avec les courants alternatifs est représenté sur une large échelle dans une des galeries de l'Exposition. Une fabrique de jouets de la ville de Nuremberg est reproduite avec tous les moteurs et machines-outils mus par l'électricité.

Nouvelle fabrique de soude et de potasse à Niagara Falls. — Le bon marché de la force motrice produite par la puissante station centrale du Niagara attire, comme il était facile de prévoir, un grand nombre d'industriels.

Nous apprenons que la fabrique de soude et potasse par les procédés électrolytiques de la Walton Fergusson Chemical Company, construite non loin de la puissante station du Niagara, est entièrement achevée et que l'exploitation doit commencer incessamment. L'usine est formée de deux corps de bâtiments à deux étages. Le plus grand renferme 100 réservoirs en fer doublés de porcelaine sont destinés à recevoir les matières brutes servant à la fabrication des produits chimiques en question. Le second bâtiment contient le matériel électrique, transformateurs, tableaux de distribution. etc.

La quantité d'énergie employée sera d'environ 1 000 chevaux ; l'usine produira une tonne de soude ou de potasse par jour. Les matières premières seront importées d'Europe.

Les exploits d'un funiculaire américain. — Quelques uns des désavantages de la traction funiculaire, dit l'*Electric Railway Gazette* de New-York, viennent d'être assez clairement démontrés par un accident survenu récemment sur la ligne de Broadway. Un des torons de câble d'entraînement se rompit et se prit dans les griffes d'une des voitures qui ne pût être arrêtée qu'avec le câble après 10 minutes d'une course vertigineuse, toutefois sans accident.

Le câble fut aussitôt réparé et le trafic reprenait son cours lorsque un autre toron se rompit à son tour, et s'engagea dans les griffes d'un car voisin; cette fois la course fut plus accidentée, le tramway fuyard brisa plusieurs voitures sur son passage, en accrocha d'autres qu'il entraîna avec lui; on comptait sept voitures de toutes sortes poussées ou entraînées par le tramway avant que l'on ait pu arrêter le câble; la voie était en outre jonchée de débris. Il n'y eut personne de tué, mais de nombreux blessés et une perte matérielle considérable sont les résultats de cet accident.

La traction électrique dans les Alpes. — Voilà qui va remplir d'aise les touristes peu soucieux de jouir d'un beau point de vue au détriment de leurs jarrets. Une Société vient de se créer pour la construction d'un tramway électrique qui partira de Zermatt pour gravir le Gornergrat. Cette montagne, qui attire un grand nombre de touristes, est élevée de 3 136 m ; la vue, au sommet, est splendide ; on découvre toutes les montagnes environnantes. La ligne projetée aura une longueur de 9 600 m avec une rampe moyenne de 15 pour 100 et 20 pour 100 au maximum. Chaque train se composera de deux voitures pouvant contenir en tout 100 voyageurs. La durée du trajet sera de deux heures. Le prix des places sera de 12 fr pour un billet simple et 18 fr aller et retour. L'énergie électrique sera produite par une station hydraulique utilisant les eaux de la Findelen. La ligne, dont l'ouverture aura lieu en 1898, coûtera environ 2 millions 500 000 fr.

Le téléphone en tramway. — Nous lisons dans l'*Electric Railway Gazette* de New-York qu'un système téléphonique pour les communications entre les voitures et le bureau du chef de service des tramways vient d'être installé sur la ligne de Bangor, Oldtown Railway à Bangor (*Amérique*). Le fil téléphonique est placé sur les pylônes du conducteur à trôlet, mais assez distant de ce dernier pour éviter l'induction ou un contact accidentel. Chacune des voitures parcourant la ligne est munie d'un jeu d'appareils qui, au moment de s'en servir, sont reliés au trôlet et aux roues du véhicule. Lorsqu'un employé veut communiquer avec le chef de service pour une cause quelconque, on stoppe la voiture et l'on change le trôlet qui établit la communication en reposant sur le câble téléphonique.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. Mauchaussat, 32 Boulevard de Vaugirard

Tome VII — Samedi 20 Juin 1896 — 3e Année. — N° 25

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

Directeur Scientifique : J. BLONDIN

Secrétaire de la rédaction : G. PELLISSIER

SUR LA QUESTION DES UNITÉS MAGNÉTIQUES (1)

Objet de cette note. — On a débattu au Congrès de Chicago en 1893 la question de savoir s'il fallait créer des unités magnétiques nouvelles ou donner des noms à celles actuellement existantes. L'avis du Congrès a été d'écarter provisoirement toute innovation et d'attendre que la question fut plus mûre avant de la résoudre. L'année suivante l'Institut Américain des Ingénieurs Electriciens, ne croyant pas pouvoir attendre un nouveau Congrès, a adopté une solution intermédiaire consistant à conserver exactement les unités c.g.s. employées jusqu'ici mais en leur donnant des noms spéciaux. Enfin à la dernière session de la British Association, les physiciens Anglais ont proposé l'adoption d'un système nouveau exposé dans un rapport rédigé par le Professeur O. Lodge et qui a donné lieu à une discussion très active de la part des spécialistes anglais et américains (2).

En France on ne s'est guère occupé sérieusement de la question jusqu'ici ; nos savants les plus autorisés se désintéressent presque toujours, comme on le sait, de ces travaux préparatoires, sans se rendre peut être compte qu'ils perdent ainsi l'occasion d'exercer une utile influence et qu'ils sont ensuite obligés par la force même des choses d'accepter les idées et les décisions que d'autres moins compétents ont fait prévaloir à leur place.

Je me propose ici d'exposer rapidement l'état de la question, de montrer l'utilité qu'il y a à la résoudre et d'indiquer enfin la solution qui me paraît devoir répondre le mieux aux besoins actuels et aux principes admis jusqu'ici (1).

Unités magnétiques actuelles. — Les unités actuelles sont simplement les unités c. g. s. L'unité fondamentale est, comme on le sait, l'unité de masse magnétique définie par la loi de Coulomb

$$f = \frac{k\, m\, m'}{r^2},$$

dans laquelle on fait par convention $k = 1$.

La masse magnétique unité est celle qui produit sur une masse semblable placée à 1 centimètre une force de 1 dyne.

On en déduit l'unité de force magnétisante ou de champ magnétique, puis l'unité d'induction, l'unité de flux et enfin l'unité de différence de potentiel magnétique.

Les équations de définition, et les dimensions physiques de ces diverses unités sont résumées dans le tableau ci-dessous emprunté à M. Hospitalier (2), dont les notations très

(1) Note présentée au Congrès de Carthage de l'Association française pour l'avancement des sciences, 4 avril 1896.

(2) « *The Electrician* » et « *Electrical World* », août, septembre, octobre 1895.

(1) Voir pour plus de détails le remarquable Rapport sur les propositions américaines présenté, en 1893, à la Société internationale des Electriciens, par M. le Prof. H. Pellat.

(2) Dans ce système les symboles représentant les unités magnétiques sont *en ronde*, ce qui permet de les

commodes et rationnelles sont aujourd'hui adoptées partout et seront, nous l'espérons, sanctionnées définitivement par le prochain Congrès,

Desideratums nouveaux. — Le système actuel est parfaitement rigoureux et commode et répond à tous les besoins des physiciens, au point de vue scientifique. Il n'en est pas de même au point de vue des applications industrielles, et cela pour deux motifs différents :

TABLEAU DES GRANDEURS MAGNÉTIQUES

Quantités physiques	Symboles	Equations de définition	Dimensions	Noms proposés par l'Institut Américain
Intensité de pôle	m	$F = \frac{m^2}{L^2}$	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	unité C. G. S.
Moment magnétique	$\mathfrak{M}$	$\mathfrak{M} = m\,l$	$L^{\frac{5}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	unité C. G. S.
Intensité d'aimantation..........	$\mathfrak{I}$	$\mathfrak{I} = \frac{\mathfrak{M}}{V}$	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	unité C. G. S.
Intensité de champ.............	$\mathcal{H}$	$\mathcal{H} = \frac{F}{m}$	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	Gauss
Flux de force magnétique.........	Φ	$\Phi = \mathcal{H}\,S$	$L^{\frac{5}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	Weber
Induction magnétique	$\mathfrak{B}$	$\mathfrak{B} = \mu\,\mathcal{H}$	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	Gauss
Perméabilité (magnétique)	μ	$\mu = \frac{\mathfrak{B}}{\mathcal{H}}$	Un nombre	
Susceptibilité (magnétique).......	κ	$\kappa = \frac{\mathfrak{I}}{\mathcal{H}}$	Un nombre	
Réluctivité (magnétique)..........	ν	$\nu = \frac{1}{\mu}$	Un nombre	
Réluctance (résistance magnétique)	$\mathcal{R}$	$\mathcal{R} = \nu \frac{L}{S}$	L^{-1}	Oerstedt
Force magnétomotrice...........	$\mathcal{F}$	$\mathcal{F} = 4\pi N I$	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	Gilbert

1° Les unités C. G. S. ont un caractère abstrait, qui en rend la compréhension et l'emploi plus pénibles aux praticiens que celui des unités électriques en usage chez ceux-ci (ohm, ampère, volt, etc). Au point de vue de l'enseignement industriel en particulier, tous ceux qui l'ont pratiqué savent que les élèves éprouvent de ce chef une certaine difficulté et confondent souvent les chiffres de force magnétisante d'induction et de flux, parce qu'ils sont suivis simplement de la mention « unités C. G. S. », et même souvent d'aucune mention.

2° Les calculs des machines et appareils d'induction sont inutilement compliqués par la nécessité de passer constamment du système pratique au système C.G.S. et inversement En effet, dans une machine quelconque les forces magnétomotrices sont données par le nombre des ampères-tours, tandis que les flux magnétiques doivent être exprimés en unités C. G. S. et, au contraire, les f. é. m. induites en volts. On a ainsi des relations bâtardes, telles que les deux suivantes, qui reviennent constamment dans la pratique :

distinguer des autres aussi bien en écriture cursive qu'en caractères d'imprimerie. Il n'en est pas de même des caractères antiques si incommodes que l'on s'obstine à adopter en Angleterre par un sentiment de « jingoïsm » mal entendu. M. Hospitalier a fait remarquer du reste fort spirituellement que l'emploi des caractères de ronde pour les quantités magnétiques a été introduit par Maxwell et que ses compatriotes n'ont cessé de les employer que lorsqu'ils ont été adoptés à l'étranger.

Force magnétomotrice.

$$\mathcal{F} = 4\pi N I \text{ (ampères)} \times 10^{-1};$$

Force électromotrice.

$$E \text{ (volts)} = N n \Phi \text{ (c. g. s.)} \times 10^{-8}.$$

Ces deux inconvénients se font sentir à bien des électriciens, et plus encore aux élèves ; pour beaucoup de ceux-ci les calculs de magnétisme sont une pierre d'achoppement qu'il serait fort utile d'aplanir.

Aussi depuis trois ans, s'est-il dessiné un mouvement sérieux parmi les électriciens en faveur d'une modification du système actuel, et il a donné lieu à plusieurs séries de propositions qu'on va examiner.

Système de l'American Institute of Electrical Engineers. — La Commission préparatoire du Congrès de Chicago avait proposé l'adoption de 4 unités nouvelles : pour la f. m. m., le *gilbert* $= 10^{-1}$ c. g. s. ; pour l'intensité de champ le *gauss* $= 10^{8}$ c.g.s. ; pour le flux, le *weber* $= 10^{8}$ c.g.s.; pour la réluctance l'*œrsted* $= 10^{-9}$ c. g. s. Ces propositions tombèrent sur un terrain mal préparé et peu favorable ; du reste, le *gauss* était de trop et les dimensions parurent mal choisies (on verra plus loin le compte qu'il faut tenir de cette objection). L'année suivante les électriciens américains, ont proposé tout simplement de concrétiser les unités c. g. s. en leur adaptant provisoirement les noms qui avaient été proposés par la Commission du Congrès dont on dénaturait ainsi complètement les propositions. (Les noms dont il s'agit, sont reproduits entre parenthèse dans le tableau précédent).

On remarquera que l'*American Institute* avait d'abord adopté à tort une seule et même unité, le *gauss* pour l'intensité de champ et pour l'induction, reliées par la relation

$$\mathcal{B} = \mu \mathcal{H}.$$

Mais, en réalité, μ a des *dimensions*, inconnues il est vrai, mais qui ne permettent pas d'assimiler complètement $\mathcal{B}$ et $\mathcal{H}$. Aussi a-t-on dû admettre plus récemment que $\mathcal{B}$ seul doit être exprimé en « gauss » (¹) et $\mathcal{H}$, au contraire, en « gilberts par cm » Ce système n'a pas été accepté par les autres Sociétés savantes qui ont conservé leur attitude expectante.

Ayant introduit moi-même depuis deux ans ces unités provisoires dans mon enseignement pour les juger en pratique, j'ai constaté qu'elles rendent d'une part service aux élèves en fixant leurs idées ; mais qu'elles les déroutent d'autre part en effaçant la séparation, bien nette jusqu'ici, entre le *système* c.g.s. et le *système pratique* dans lequel elles semblent à tort prendre place, bien qu'elles ne fassent pas disparaître les équations bâtardes.

Je ne crois donc pas qu'il y ait lieu de rendre définitif le système *provisoire* de l'*American Institute*. Il aura néanmoins rendu de très utiles services pendant trois ans ; et, quoi qu'on pense de ses défauts, on doit reconnaître qu'il est clair et logique, qualités que nous ne retrouvons pas dans le système suivant.

Système de la British Association. — L'exposé officiel du système, par le Professeur Lodge, contient des alternatives, peut-être même des contradictions, qui en rendent l'analyse assez pénible et nous forcent à abréger celle-ci. Nos voisins d'Outre-Manche admettent l'opportunité de choisir trois unités pratiques pour la force magnétomotrice le flux magnétique et la perméance.

Nous allons les examiner successivement.

1° *Pour le flux* Φ, l'accord est a peu près établi pour proposer une unité égale à 10^{8} unités c.g.s. de flux, de façon à faire disparaître le facteur 10^{-8} de l'équation de la force électromotrice.

On ferait ainsi disparaître du vocabulaire anglais le mot « ligne » de force, employé pour l'unité c g. s. Nos voisins disent un flux de 500 000 lignes, une induction de 15 000 li-

(¹) L'unité d'induction est d'ailleurs sans utilité et peut être supprimée ; car cette quantité peut se mesurer par le flux par cm². Il n'y a pas plus de motif d'affecter une unité spéciale à la densité de flux magnétique qu'à la densité de flux électrique, qui s'exprime en ampères par cm² ou par mm².

gnes, voire même 15 kilolignes ; en France, où l'on n'a jamais adopté cette étrange terminologie, on n'aurait pas à regretter ce changement.

En fait, la proposition du weber $= 10^8$ c. g. s. n'est pas nouvelle, puisqu'elle reproduit celle de la Commission préparatoire du Congrès de Chicago, et elle nous paraît excellente. On y avait objecté que cette unité serait trop grande parce que le flux inducteur dans les plus grandes machines ne dépasse pas actuellement, d'après M. S. P. Thompson, 50 à 80 millions d'unités c. g. s, c'est à dire 0,5 à 0,8 weber. Mais on oubliait ainsi qu'il y a des sous-multiples, tels que le milliweber et le microweber, faciles à utiliser; du moment qu'on mesure bien les capacités en microfarads, on serait mal venu à se plaindre de l'emploi du microweber comme unité pratique.

2° *Pour la force magnétomotrice* $\mathfrak{F}$ *et la perméance* $\mathfrak{L}$, le Professeur Lodge nous donne le choix entre deux systèmes de définitions :

Dans le premier, qui est le système actuel, on définit la force magnétomotrice par la différence de potentiel entre les deux faces de la bobine qui la produit ; c'est à dire, en appelant N le nombre de spires de celle-ci et I le courant qui le traverse,

$$\mathfrak{F} = 4 \pi N I.$$

La perméance du circuit magnétique est le rapport

$$\mathfrak{L} = \frac{\Phi}{\mathfrak{F}}.$$

Dans le second système on définirait la force magnétomotrice par le produit NI et la perméance par le rapport $\frac{\Phi}{NI}$.

En réalité le choix n'existe pas à notre avis, car les premières définitions seules sont exactes ; la force magnétomotrice est proportionnelle à NI, mais ce n'est pas NI. Si donc, on veut considérer le rapport $\frac{\Phi}{NI}$ qu'on lui donne un nom autre que perméance ; on pourrait l'appeler par exemple la « fluctance », et la mesurer simplement en webers par ampères-tours. Mais en réalité le besoin ne s'en fait pas sentir pour le théoricien, et quant au praticien il lui suffit de connaître sous forme de courbe expérimentale la loi de variation de l'induction en weber par cm^2 ou par dm^2 en fonction des ampères-tours.

Il n'y a donc lieu à aucun point de vue de modifier les définitions admises jusqu'ici, et nous laisserons par conséquent de côté les unités proposées par M. Lodge dans son second système pour ne nous occuper que de celles relatives au premier ; celles-ci seraient : pour la force magnétomotrice l'unité c. g. s. qu'on appellerait « gauss » ; pour la perméance la même unité que pour la self-induction, c'est à dire le « henry ».

Ces deux propositions me paraissent également inacceptables. Tout d'abord l'emploi de l'unité c. g. s. ne se comprend pas lorsqu'on abandonne d'autre part le système c. g. s. pour l'unité de flux et l'unité de perméance, car un tel ensemble est incohérent.

Quant à l'idée qu'on peut employer une même unité pour deux quantités physiques aussi différentes que la perméance et l'inductance, c'est, je crois, une idée fausse, contre laquelle il est d'autant plus nécessaire de s'élever que des physiciens très distingués l'ont partagée [1]; elle confond la *nature* d'une quantité avec ses *dimensions physiques*. Le principe général en matière de mesures doit être de ne confondre deux quantités ayant mêmes dimensions physiques que lorsqu'elles sont *égales*. Sans cela on arriverait à des confusions telles que celle qui consisterait à dire par exemple, d'après le théorème de Gauss, qu'un pôle de *1 weber* produit un flux de *4 π webers*. De même dans le système anglais proposé on dirait qu'une bobine de 10 spires dont le circuit magnétique a une perméance de 10 henrys a une self induction de 1257 henrys : comment distinguer ces deux chiffres 10 et

[1] C'est une erreur du même genre que l'on a commise en évaluant autrefois les self-inductions en kilomètres; l'erreur était d'ailleurs aggravée par le fait qu'on ne tenait pas compte des dimensions du coefficient μ.

1257? Du reste pour être logique avec lui-même il aurait fallu d'après le même principe exprimer les forces magnétomotrices en *ampères* au lieu de donner une unité spéciale. Cette simple remarque montre que l'unité de perméance reste distincte de l'unité de self-induction, puisque la self-induction diffère de la perméance par le facteur $4\pi\,{}^2n$.

D'ailleurs je tiens à faire remarquer un détail important qui a peut être échappé à beaucoup d'électriciens (¹) lors de la définition du « henry » comme unité de self-induction, c'est qu'on a défini à Chicago la self-induction par le rapport

$$L_1 = -\frac{d\Phi}{dI}, \qquad (1)$$

au lieu de la définition habituelle (²)

$$L_2 = -\frac{\Phi}{I}. \qquad (2)$$

Il est seulement regrettable que l'on ait conservé le même nom ancien d'induction propre aux deux rapports L_1 et L_2 qui sont absolument différents toutes les fois qu'il y a du fer dans le circuit magnétique. Il me paraît désirable de les distinguer au contraire désormais en attribuant à L_2 seul le nom ancien, ce qui conserve les idées classiques toujours, et en donnant à L_1 le nom de réaction propre ou de self-réaction ; c'est ce que je ferai dans ce qui suit.

Nous ne retiendrons donc des propositions anglaises que deux éléments qui nous paraissent bons, à savoir l'unité de flux égale à 10^8 unités C. G. S. et la façon de mesurer la force magnétisante ou l'intensité de champ, M. Lodge, à la suite de remarquables et excellentes considérations, propose de l'évaluer par la chute de potentiel magnétique le long d'une ligne de force en « gauss par centimètre » au lieu d'adopter un nom spécial. C'est là une idée très juste : on évalue en effet la chute de voltage le long d'une ligne en volts par unité de longueur, et il n'y a pas de motif pour ne pas adopter une terminologie analogue pour le magnétisme ; M. Lodge va même jusqu'à proposer le mot « gaussage » comme l'analogue de « voltage » pour désigner la force magnétomotrice d'une bobine.

Solution proposée. — Pour nous, il ne nous paraît pas qu'il y ait à chercher bien loin la solution, car il n'y en a qu'une seule logique. Elle consiste tout simplement à compléter notre *système pratique* d'unités électriques pour les quelques unités magnétiques nécessaires, tout en conservant à ce système une parfaite cohérence, ainsi que l'avait proposé la commission préparatoire de Chicago (avec quelques différences qu'on verra).

Malheureusement la décision un peu précipitée qu'ont prise nos confrères américains rend aujourd'hui difficile le retour pur et simple à ces propositions et il serait probablement nécessaire de forger de nouveaux noms ; nous proposons ceux de Maxwell, Hertz et Arago, comme on va le voir.

1° L'unité pratique de flux serait : Le maxwell (ou weber) $= 10^8$ C. G. S., parceque le volt $= 10^8$ C. G. S.

2° L'unité pratique de différence de potentiel magnétique (ou gaussage) : le hertz (ou gauss) $= 10^{-1}$ C. G. S. $= \frac{1}{4\pi}$ ampère-tour, parce que l'ampère $= 10^{-1}$ C. G. S.

3° Ces deux unités peuvent très bien suffire, en pratique ; cependant pour achever l'analogie avec le circuit électrique, il peut être bon d'adopter une unité pratique de réluctance (résistance magnétique) égale au rapport des précédentes, l'arago (ou œrsted) $= \frac{1 \text{ herz}}{1 \text{ maxwell}} =$ 10^{-9} C. G. S. ; de même qu'on a donné à l'unité

(¹) It has been practically decided in America that this unit shall be named after Prof. Henry, *but the precise definition has not yet been agreed upon* (sic). Rapport de M. Lodge.

(²) La définition (1) m'avait attiré des attaques passablement acerbes quand je l'avais préconisée devant la Société des Electriciens contrairement aux propositions américaines du Congrès, et la Commission française avait préféré la seconde conformément à celle-ci, c'est cependant la définition (1) qui, ayant prévalu devant le Congrès, est actuellement officielle, et j'espère ne plus être le seul à la recommander maintenant.

de conductance le nom de mho $= \frac{1}{\text{ohm}}$, on pourra prendre comme unité de perméance l'inverse de l'unité de réluctance, en lui donnant le nom de ogara (ou detsrœ). Le ogara $= 10^9$ C. G. S. est homogène avec l'henry.

Ces trois propositions ne diffèrent de celles qui avaient été faites par la Commission du Congrès de Chicago que par les noms et la suppression d'une unité spéciale d'induction. Celle-ci se mesurerait, d'après la proposition de M. Lodge, en chute de hertz ou gauss par cm le long d'une ligne de force.

L'objection qu'on a faite aux grandeurs de ces unités est pour nous sans valeur, parce que l'emploi des multiples ou sous multiples suffit à la résoudre ; d'ailleurs l'emploi de ces unités n'exclura nullement la considération des ampères-tours et les courbes d'induction qui définissent les propriétés d'un échantillon de fer pourront être rapportées à ceux-ci tout aussi bien que par le passé.

Les chiffres mêmes d'induction auxquels les constructeurs sont habitués pourront être considérés sans changement en remplaçant l'unité C. G. S. d'induction par sa valeur nouvelle qui est *le microweber par dm²*. Au lieu d'une induction de 16 000 unités C. G. S. on dira une induction de 16 000 microwebers par décimètre carré.

On trouvera facilement pour les autres quantités, sans noms nouveaux, des unités pratiques cohérentes avec les précédentes ; en particulier pour la *self-induction* L, l'unité pratique sera le *weber par ampère* [1] ; l'unité de *self-réaction* reste le *henry*, défini à Chicago et qui est égal à 1 volt-seconde par ampère.

La perméabilité rapportée à celle de l'air est un nombre, donc elle n'a pas besoin d'unité ; son inverse, la reluctivité ne présente aucun intérêt. Toutes les unités pratiques proposées sont résumées dans le tableau suivant.

TABLEAU DES UNITÉS PROPOSÉS

Quantités magnétiques	Nom des Unités pratiques	Valeurs des unités pratiques
Flux	maxwell (ou weber.	10^{-8} unités C.G.S.
Induction	maxwell (ou weber) par cm².	10^{-8} »
Force magnétomotrice	hertz (ou Gauss).	10^{-1} »
Intensité de champ	hertz (ou gauss) par cm.	10^{-1} »
Réluctance	arago (ou œrsted) ou maxwell par hertz.	10^{-9} »
Perméance	ogara (ou detsrœ) ou hertz par maxwell.	10^{9} »
Self-induction ..	maxwell par ampère.	10^{9} »
Self-réaction....	henry.	10^{9} »

Le système pratique cohérent serait ainsi complet et les praticiens pourraient effectuer tous les calculs d'électricité et de magnétisme dont ils ont besoin sans recourir une seule fois aux unités C. G. S. ; ils n'auraient même à la rigueur plus besoin de connaître celles-ci, que d'une manière très superficielle, et l'apprentissage industriel s'en trouverait considérablement simplifié.

Les calculs relatifs aux moments magnétiques, aux intensités de pôles etc.... étant d'ordre purement scientifique pourraient continuer à se faire en unités C. G. S.

La question du facteur 4π. — La présence du facteur 4π dans l'expression de la force magnétomotrice paraît gênante à beaucoup d'auteurs. surtout en Angleterre, et ceux-ci voudraient le faire disparaître. C'est à cette préoccupation qu'il faut attribuer le second système de M. Lodge définissant la force magnétomotrice par le produit NI.

(1) M. Lodge a proposé l'expression « weber-tour par ampère » analogue à l'ampère-tour. Elle peut paraître motivée par le fait que le flux *total* qui traverse une bobine théoriquement est le produit du nombre de spires par le flux à travers une spire ; mais s'il y a des fuites magnétiques cela n'est plus vrai, et les différentes spires n'embrassent pas le même flux. Nous préférons donc considérer non pas le flux à travers une spire, mais le flux total à travers l'enroulement ; d'où l'expression de weber par ampère.

Cette proposition, inacceptable si l'on conserve les unités actuelles ou celles proposées plus haut, pourrait devenir bonne si on choisissait de nouvelles unités de manière à faire disparaître non pas fictivement mais réellement le facteur 4π.

Un système d'unités répondant à ce desideratum a été imaginé par M. Heaviside qui lui a donné le nom de « rationnel »; il revient à donner arbitrairement au coefficient inconnu k de la loi de Coulomb et de la loi de Laplace la valeur $\frac{1}{4\pi}$ au lieu de 1.

Au lieu de

$$f = \frac{mm'}{r^2},$$

et

$$f' = \frac{mi\,ds \sin(r, ds)}{r^2},$$

M. Heaviside écrit

$$f = \frac{mm'}{4\pi r^2},$$

$$f' = \frac{mi\,ds \sin(r, ds)}{4\pi r^2};$$

alors le flux produit par une masse m s'écrit simplement

$$\Phi = m,$$

et la force magnétomotrice produite par NI ampères-tours devient

$$\mathfrak{F} = \text{NI}.$$

Les unités magnétiques de pôle, flux, induction, intensité de champ, etc, sont ainsi multipliées par $\sqrt{\frac{1}{4\pi}} = 0{,}282$. Mais cette modification entraîne des changements corrélatifs pour les unités électriques et M. Heaviside est conduit à proposer les nouvelles unités suivantes :

1 volt « rationnel »	= 3,44 volts actuels	
1 ampère	»	= 2,822 amp. »
1 ohm	»	= 1,257 ohms »

Ce serait donc un bouleversement complet avec des muliplicateurs compliqués. Un changement aussi considérable ne semble guère possible actuellement ; d'ailleurs il ne nous paraît pas désirable, pour deux motifs :

1° Théoriquement tant que l'on parlera de masses magnétiques et que l'on ne connaîtra pas le coefficient de Coulomb, il n'y a pas grand progrès au point de vue théorique à lui donner la valeur arbitraire $\frac{1}{4\pi}$ au lieu de 1, et nous ne voyons pas bien en quoi, parce que le dénominateur $4\pi r^2$ représente la surface d'une sphère, les unités seraient plus rationnelles.

2° Pratiquement le facteur 4π ne disparaît pas pour autant ; il est tout simplement déplacé ; au lieu d'apparaître dans le théorème de Gauss et la force magnétomotrice, il se trouve dans les formules de Coulomb ou de Laplace. Ce déplacement ne suffit pas, croyons-nous, à justifier un changement si compliqué.

On pourrait d'ailleurs arriver au même but, c'est à dire à confondre la force magnétomotrice avec les ampères-tours, d'une manière beaucoup plus simple, en changeant la définition de l'unité C. G. S. d'intensité de courant : celle-ci serait « le courant qui, traversant une spire plane, produit entre les deux faces de celles-ci une différence de potentiel magnétique égale à une unité C. G. S. de potentiel ». Cela conduirait à mettre en dénominateur $\frac{1}{4\pi}$ dans la loi de Laplace, mais les unités magnétiques ne seraient pas changées, ni la loi de Coulomb ; et quant aux unités électriques elles seraient très peu modifiées ; on aurait seulement à réduire les unités C. G. S. dans le rapport $\frac{1}{4\pi}$ et les unités pratiques l'ampère et le volt dans un même rapport $\frac{1}{0{,}4\pi} = 0{,}798$ sans toucher à l'ohm, ce qui est très important ; e watt serait multiplié par $\left(\frac{1}{0{,}4\,\pi}\right)^2 = 0{,}633$.

L'ampère serait alors égal à l'unité C. G. S. de courant ; le volt à 10^9 unités C. G. S. et le watt à 10^9 C. G. S., de même que l'ohm. Les rapports entre les unités pratiques et unités C. G. S. se trouveraient ainsi considérablement simplifiés relativement au système actuel.

Peut-être pourra-t-on plus tard adopter

ces définitions qui vaudraient beaucoup mieux que nos définitions actuelles. Mais pour le moment une semblable modification ne présente aucune urgence. J'ai voulu simplement la signaler comme bien préférable au système dit « rationnel » de M. Heaviside.

Conclusion

En résumé j'espère avoir établi par les considérations précédentes que :

1° Dans l'état actuel de la science l'adoption d'unités magnétiques pratiques est désirable pour compléter le *système pratique* et dispenser de l'emploi du *système* C. G. S.

Le système provisoire adopté en Amérique n'est pas conforme à ce desideratum, ni sa nomenclature au principe admis, qui est de ne pas donner de noms d'hommes aux unités C. G. S. ; il est donc à espérer que l'American Institute ne demandera pas qu'il devienne définitif et international.

2° Les nouvelles unités ne peuvent avoir de raison d'être qu'à condition de former *un système cohérent avec les unités pratiques déjà adoptées ;* elles doivent donc, conformément au principe général, être seulement des multiples des unités C. G. S. par des puissances entières de 10.

3° Il est désirable d'adopter trois de ces unités qui jouent le même rôle dans le circuit magnétique que l'ampère, l'ohm et le volt dans le circuit électrique ; ces trois unités sont plus que suffisantes pour les praticiens. Elles doivent satisfaires aux relations

$$\Phi = \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{R}} \quad \text{et} \quad E = \frac{\Phi}{L}$$

4° Il serait bon pour ne pas heurter les habitudes prises déjà en Amérique d'adopter pour les nouvelles unités pratiques des noms autres que ceux si qualifiés de Gauss, Weber, Œrsted et Gilbert. Dans cette hypothèse on pourrait proposer

le "maxwell" pour le flux,

le "hertz" pour le potentiel magnétique,

l' "arago" (inverse Ogara) pour la réluctance ;

de façon à donner place égale aux savants de langues allemande, anglaise et française.

Les unités secondaires s'exprimeraient en fonction des précédentes.

5° Le facteur 4π n'est gênant que dans les formules et non pour les calculs industriels où les tables dressées en fonction des ampères-tours permettent de ne pas s'en occuper.

Les transformations d'unités ne peuvent pas le faire disparaître mais seulement le déplacer d'une formule dans une autre.

Le système dit "rationnel" de M. Heaviside n'échappe pas à cette critique et il présente d'autre part une complication extrême. Si on veut perfectionner le système actuel, le moyen le plus simple et le plus logique serait de changer simplement la définition de l'intensité de courant qui est peu heureuse ; il en résulterait des simplifications pratiques très appréciables, mais il ne semble pas que cette question soit encore mûre et on peut sans inconvénient la laisser de côté provisoirement.

En définitive le système que je préconise est sans aucune prétention à l'originalité.

Je crois en effet que c'est une question de simple bon sens qui commande l'achèvement et la cohérence du système pratique électromagnétique enrichi déjà à plusieurs reprises d'unités nouvelles.

A. Blondel

LES LAMPES A ARC (1)

La lampe de MM. *Crompton* et *Pochin* représentée par les figures 1 à 3 est remarquable par sa grande simplicité. Les porte-charbons suspendus à deux poulies *e* et *f*, solidaires, et dont l'une est d'un diamètre double de celui de l'autre, tendent à se rapprocher et sont réglées par le jeu de deux électros l'un dérivé, D, et l'autre en série, D_1, agissant sur un levier *i*, auquel est attachée, en *k*, la corde du frein R, calé sur l'arbre des poulies. Le

(1) *L'Éclairage Électrique* 2 mai 1896 p. 212.

guidage des porte-charbons c et c_1 s'opère par des traverses reliées respectivement chacune à une tige d ou d_1, mobile dans un des tubes C, et à un patin mobile sur l'autre tube C. Un réflecteur E en porcelaine ou en tôle émaillée guide le charbon supérieur tout près du cratère de l'arc préservé d'un excès d'air par la forme bombée de cette plaque. Il suffit de soulever légèrement le globe H par ses attaches *o o* pour le déclancher des supports *p p* et pouvoir le laisser retomber sur ses guides G G.

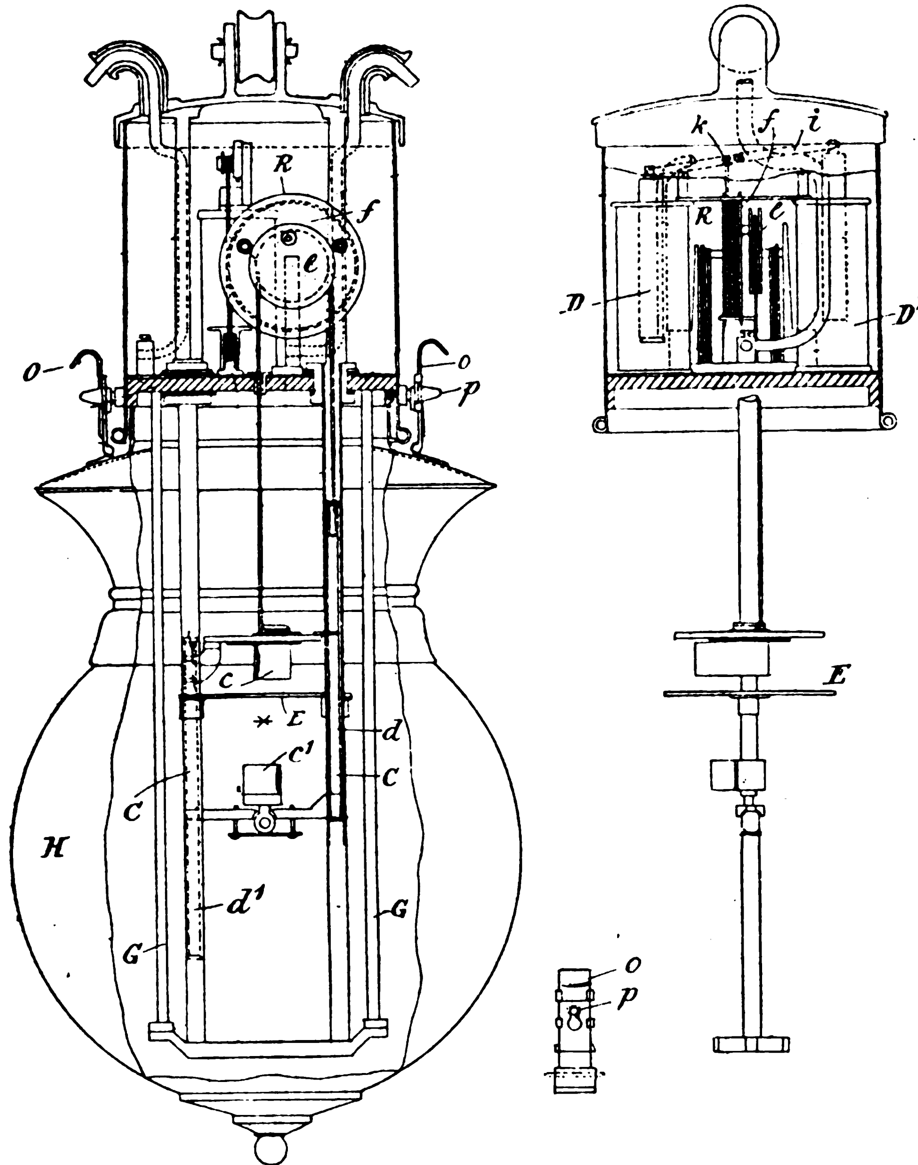


Fig. 1 à 3. — Lampe *Crompton et Pochin* (1895).

Le frein de la lampe *Siemens* et *Booker* représenté par les figures 4 et 5 est actionné par l'électro en série E qui, dès la mise en circuit, attire malgré le ressort S, le levier A L, lequel, ramenant le loquet F, fait basculer le châssis *r* de manière à séparer les charbons dont le réglage s'opère ensuite par l'électro dérivé *e*. Quand on coupe la lampe du cir-

cuit, E lâche AL, qui, rappelé par son ressort S, déclanche par F, en *g*, le mécanisme, de manière à permettre le rapprochement des charbons au contact.

Dans la lampe différentielle de *Codd* (fig. 6) dès qu'on y lance le courant, le solénoïde en série, attirant son armature *d*, appuie, par le levier *c* et le genou $b\ b_1$, le galet *a* contre l'intérieur de la jante de la poulie E, de manière à l'entraîner et à lui faire séparer les charbons qui y sont suspendus. Dès que l'arc augmente, l'électro en dérivation fait, par *d'*, basculer le levier *c* de manière à desserrer *a*, malgré le contrepoids c_1. Le taquet mobile *g* permet de régler la sensibilité de l'appareil et un dash-pot *f* en atténue les oscillations.

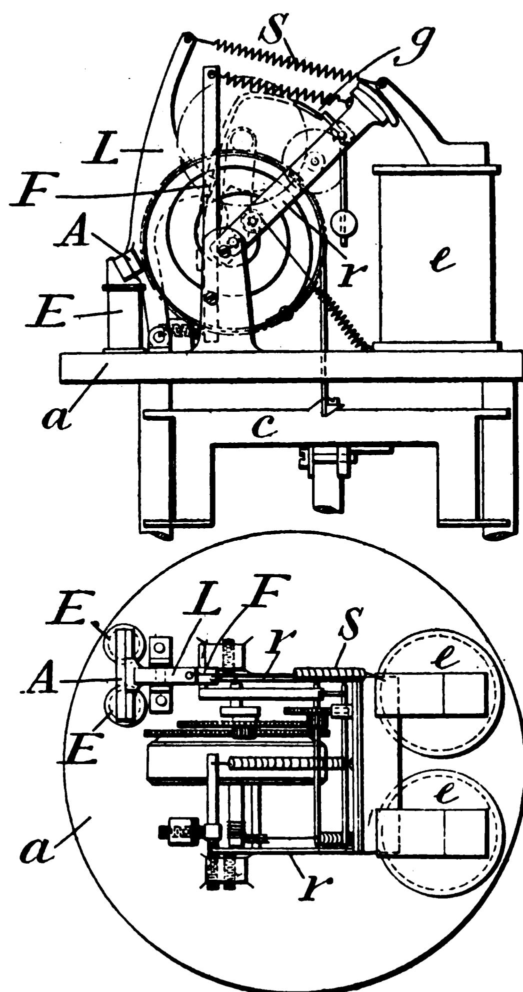


Fig. 4 et 5. — Lampe *Siemens* et *Brokie* (1895).

La lampe de *L. Davis* est (fig. 7 à 9) régularisée très simplement par l'action mutuelle de deux solénoïdes, l'un, fixé à deux enroulements en différentiel T et T_1, et l'autre M, mobile dans T, sur lequel il est dérivé. Au repos M occupe la position (fig. 9) où la poulie W de suspension des charbons, dégagée par le plat O de la roue F, solidaire de M, laisse les charbons arriver au contact, puis, quand on lance le courant, la rotation de M sépare les charbons, dont le réglage se maintient ensuite par les oscillations de M sous l'action des solénoïdes T et T_1 ; ainsi, quand l'arc s'allonge, M rapproche les charbons d'abord directement, puis par la diminution graduelle du frottement entre W et F, à mesure que O se rapproche de la position limite (fig. 9).

Le fonctionnement du frein à mâchoires de *T. Adams* est facile à saisir sur les figures 10 et 11 qui le représentent serré puis desserré par

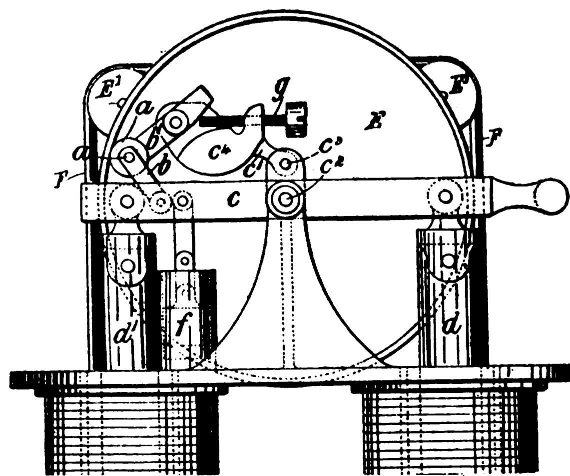


Fig. 6. — Lampe *Codd* (1895)

le jeu du levier C *c' c*. Le perfectionnement apporté consiste dans l'emploi d'une garniture de graphite *b b'*, qui donne un serrage toujours assuré par le frottement de surfaces inaltérables.

Dans la lampe de l'*Electric Arc C°* de New-York, représentée par les figures 11 à 18, quand on y lance le courant, les électros en série 18, à dash-post 22, attirant leur armature, serrent puis soulèvent le charbon supérieur par le zig-zag 13-15, puis la régularisation se main-

tient pendant 4 ou 5 heures, jusqu'à ce que, les charbons s'étant suffisamment usés, le zig-

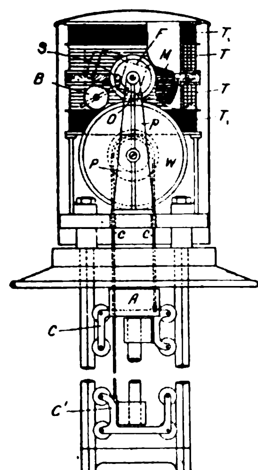


Fig. 7 à 9. — Lampe *Davis* (1895).

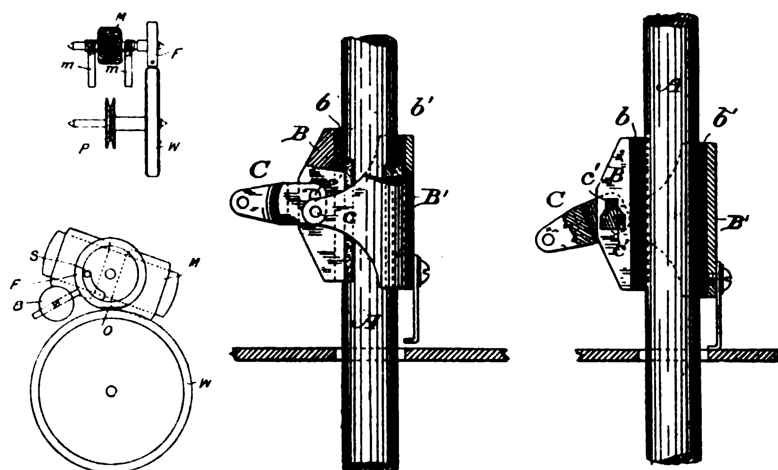


Fig. 10 et 11. — Lampe *Adams* (1896). Détail du frein

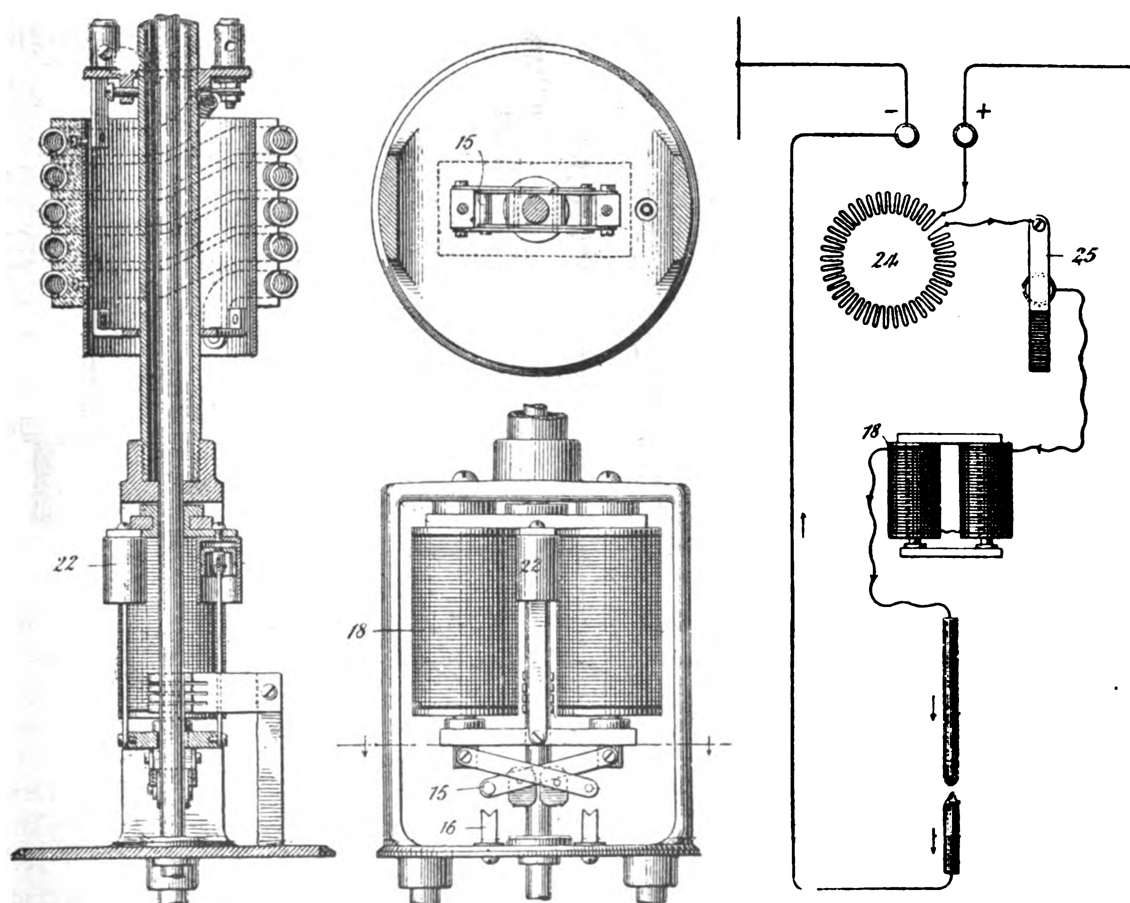


Fig. 15 à 18. — Lampe de l'*Electric arc.* C°.

zag 15 vienne buter sur les taquets 16, (fig. 17) ce qui fait lâcher un moment le charbon, aussitôt

relevé par un vif rappel des électros. Un rhéostat 24-25 permet d'intercaler dans le circuit de l'arc une petite résistance : $\frac{1}{6}$ environ de celle de l'arc et variable de manière que la lampe puisse fonctionner facilement à des potentiels notablement différents de 100 à 120 volts par exemple.

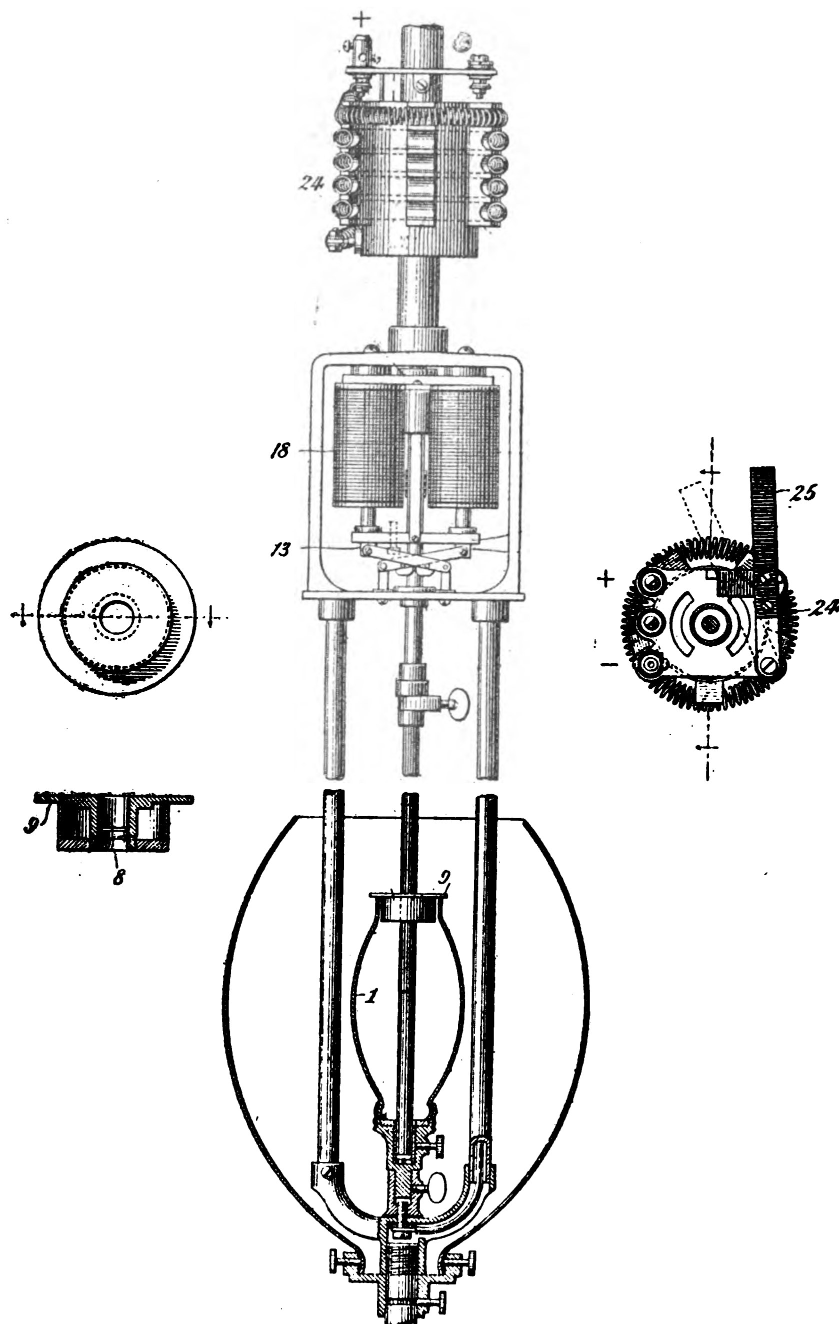


Fig. 11 à 14. — Lampe de l'*Electric arc C°* (1896).

La résistance des électros — est d'environ $\frac{2}{3}$ d'ohm. Une paire de charbons de 300 mm de long sur 11 mm de diamètre dure de 100 à 150 heures selon le voltage ; cette durée

est due en grande partie à ce que les charbons sont enfermés au milieu d'une atmosphère presque neutre dans une ampoule 1,

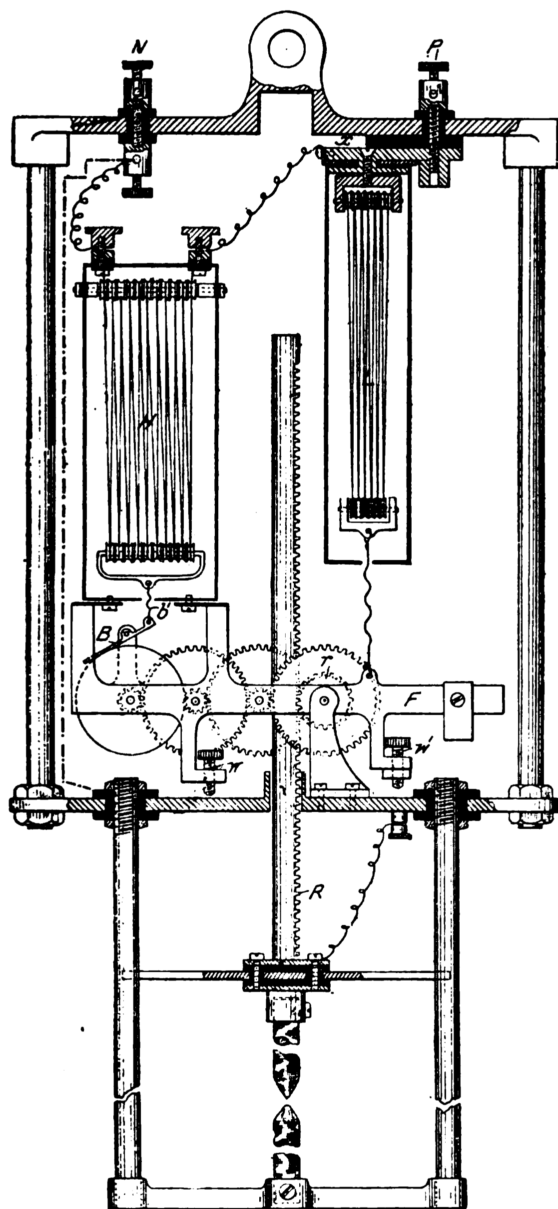


Fig. 19. — Lampe *Fischer* (1895).

communiquant avec le globe par une fermeture 5, à chicanes 8 (fig. 13) laissant néanmoins un libre jeu au charbon supérieur.

Le fonctionnement de la lampe *Fisher* est réglé par un double système de résistances à dilatations différentielles. Au départ, les charbons étant au contact, quand on lance le courant, il passe de la borne P (fig. 19) aux charbons par la faible résistance L dont les fils échauffés s'allongent et laissent retomber le chassis pivoté F d'une quantité, limitée par le taquet *w'*, suffisante pour remonter, par le train *r*, alors immobilisé par le frein B, le charbon supérieur de la longueur de l'arc. Si, à l'amorçage, les charbons ne sont pas au contact, le courant, passant par la forte résistance dérivée H, relâche le frein B, qui laisse le charbon supérieur descendre jusqu'à l'amorçage de l'arc ; puis, dans les deux cas, l'arc se maintient par le jeu différentiel des résistances H et L, qui peuvent fonctionner aussi bien en courants alternatifs qu'en courants continus avec de très faibles pertes et une grande simplicité.

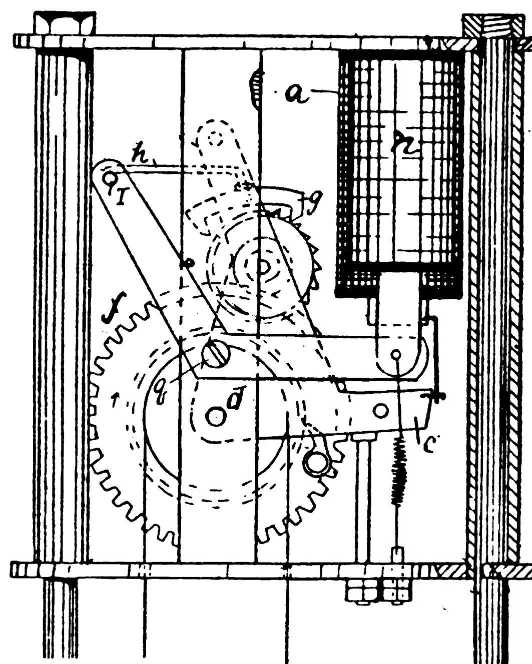


Fig. 20. — Lampe *Goold* (1895).

Au départ, les charbons de la lampe *Goold* sont (fig. 20) au contact. Quand on y lance le courant, le solénoïde en série *a* relève le levier *cd* de manière à entraîner la roue *f* par son rochet, alors enclanché en *g*, et à amorcer l'arc ; puis, quand l'arc augmente,

l'électro dérivé n, attirant le levier r, pivoté en q, déclanche g par h, et laisse se rapprocher les charbons.

Fig. 21. — Lampe *Jandus* (1895).

La lampe de *Jandus*, représentée par les figures 21 est, comme les précédentes, remarquable par sa simplicité et la facilité de son entretien. L'arc y est enfermé dans un petit globe N, à peu près étanche, ne communiquant avec le globe extérieur que par le jeu ménagé au charbon supérieur dans son passage en n_3, et le globe extérieur ne communique lui-même avec l'atmosphère que par les orifices l_3. Pour démonter la lampe,

Fig. 22 à 27. — Lampe *Jandus*.

on dévisse, par l, le globe extérieur du porte-charbon K K_1, puis, après avoir desserré la vis de pression g_1 (fig. 23) on tourne l'étoile K_1 de manière à la faire passer au travers des encoches g, du support C, ce qui permet de retirer le globe intérieur N. On peut alors insérer le charbon supérieur au travers de la garniture annulaire de contact f_1 et du frein

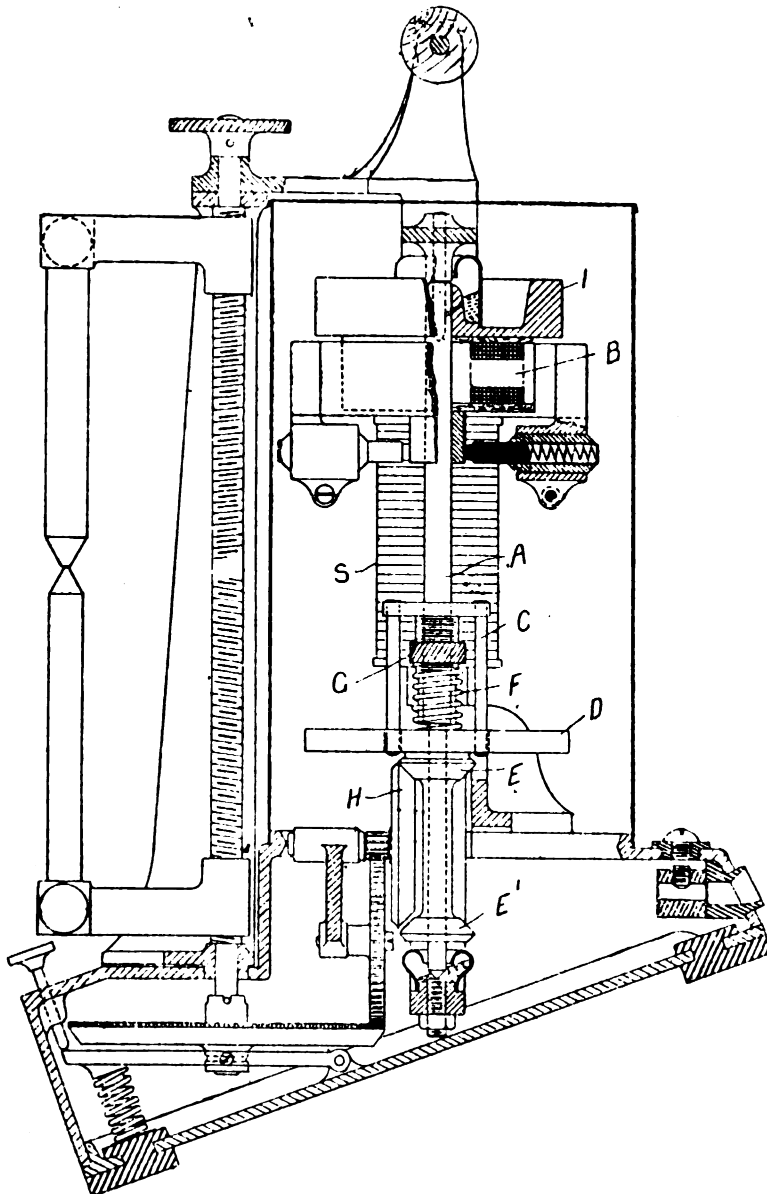


Fig. 28. — Lampe *Moody* pour projecteurs (1895).

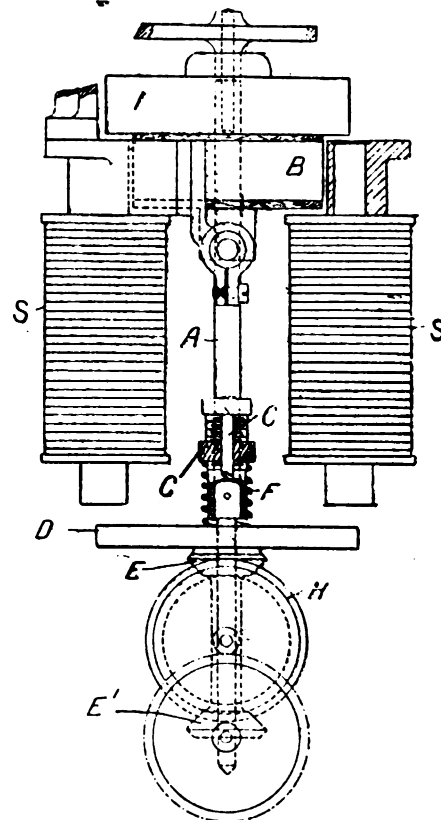


Fig. 29. — Lampe *Moody* vue par bout.

annulaire e_1. On remet ensuite le tout en place, avec le charbon inférieur en K, et en serrant, par l, le globe extérieur sur sa garniture d'amiante F suffisamment pour en assurer l'étanchéité.

Le courant passe du fil d'entrée G au fil de sortie J par le solénoïde C, les balais annulaires f_1, le charbon supérieur, l'arc, K G f, et le rhéostat H ; l'armature E, attirée par le pôle B, serre par sa cuvette E_1 (fig. 27) les

anneaux e_1 (fig. 26) sur le charbon supérieur et l'enlève de manière à amorcer l'arc 5, avec une grande douceur, parce que la cuvette E_1 agit en amortisseur, comme le piston d'un dash-pot, et en même temps avec précision et sûreté, grâce à la rugosité des anneaux e_1 et de l'intérieur de la cuvette E_1; puis la régularisation se maintient comme dans la lampe décrite à la page 213 de notre numéro du 2 mai dernier.

Le charbon supérieur est enfilé dans une douille métallique o_1 (fig. 25) fixée à une tige de porcelaine o. A la fin de l'usure du charbon, la douille o_1 est arrêtée par le passage en n_1, tout en restant au contact des balais f_1 de manière à couper l'arc du circuit.

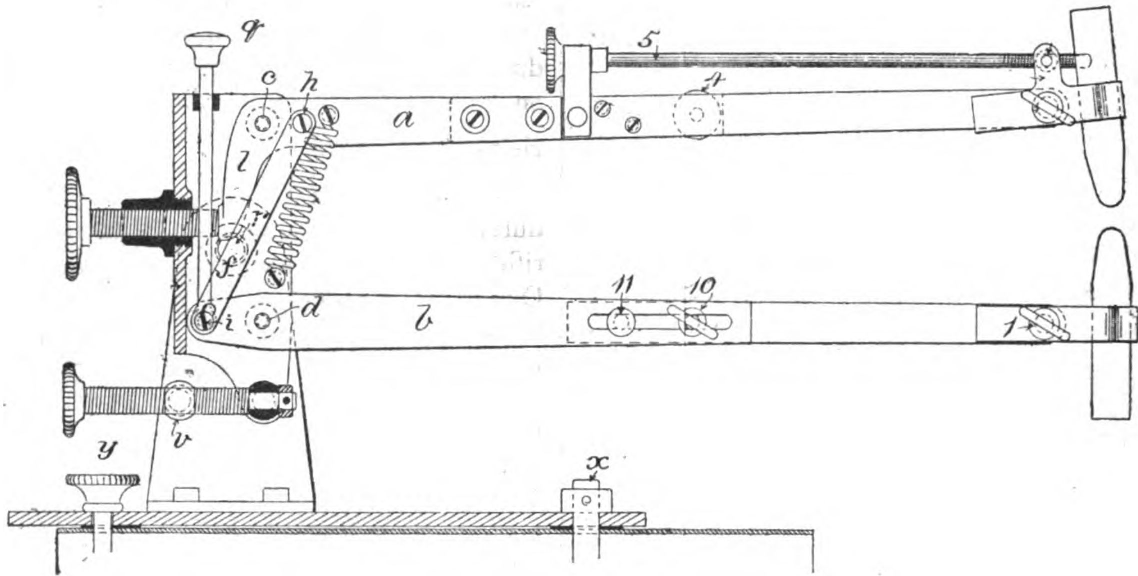


Fig. 30. — Lampe pour projections *Branson*.

La régularisation de la lampe de *Moody* représentée par les figures 28 et 29 s'opère par l'intermédiaire d'une dynamo dont l'armature B est en dérivation sur les inducteurs S S, qui servent en même temps de solénoïdes régulateurs. L'arbre A de cette dynamo entraîne constamment, par les tiges G G, le plateau D rainuré sur A est solidaire du manchon à deux cônes de friction E E', lesquels entraînent par H le mécanisme de la lampe tantôt dans un sens tantôt dans l'autre. Dès qu'on fait passer le courant, les pôles de S S attirent, malgré le ressort F, réglable en C, le plateau D, de manière qu'il attaque H par E' et amorce l'arc, puis, quand l'arc augmente, le ressort F l'emporte, et E fait tourner H dans le sens du rapprochement des charbons. Enfin, en cas de rupture accidentelle du circuit, l'impulsion du volant I suffit pour ramener les charbons au contact.

La lampe pour projection de M. *F. W. Branson* est (fig. 30) remarquable par la facilité et l'étendue de son réglage à la main. L'écartement des charbons se règle au moyen de la vis m, agissant par l simultanément sur les leviers a et b, conjugués par la bielle f, dont la distance des articulations h et i à celles c et d des leviers a et b peut se régler au moyen de coulisses non figurées et taillées dans ces leviers de manière à maintenir le foyer de l'arc fixe malgré l'usure inégale des charbons. Un bouton q permet de rapprocher ces charbons au contact pour l'amorçage de l'arc, et la vis v permet, en faisant osciller le chassis e, de régler la hauteur de l'arc, donc l'orientation autour de x se règle par la vis y. Enfin, les

charbons peuvent s'incliner autour des articulations 1, par la vis 5 pour le charbon supérieur — lequel peut se régler en outre latéralement par la vis 4 — tandis que le bras du charbon inférieur peut s'allonger par les coulisses 10 et 11.

Gustave RICHARD.

MÉCANISME
DE LA DÉCHARGE DES CORPS ÉLECTRISÉS
PAR LES RAYONS DE ROENTGEN

I. On sait que les rayons de Roentgen déchargent les corps électrisés qu'ils rencontrent. Préoccupé surtout de concilier ce fait avec le principe de la conservation de l'électricité, j'ai réalisé quelques expériences qui me semblent préciser un peu la nature du phénomène.

On peut, en particulier, obtenir la décharge en faisant pénétrer les rayons dans une enceinte métallique absolument close où se trouve un conducteur porté à un potentiel différent. C'est le cas, par exemple, pour un électroscope Hurmuzescu. J'ai repris l'expérience en liant à l'aiguille d'un électromètre la cage de l'électroscope, maintenue isolée.

Pendant toute la durée de la décharge, l'aiguille reste immobile. Il n'est donc pas douteux, et, du reste, il était presqu'évident, que les rayons dissipent non seulement l'électricité des feuilles d'or, mais aussi l'électricité de nom contraire qui lui correspond sur la paroi interne de la cage en égalisant les potentiels de ces deux conducteurs.

II. Il serait cependant incorrect de supposer que les rayons X (ou l'air qu'ils ont rencontré), agissent comme agirait un faisceau de fils conducteurs, ou comme agirait un électrolyte ordinaire. L'expérience suivante prouve, en effet, qu'ils peuvent réunir deux corps de potentiels très différents sans cependant égaliser ces potentiels.

Un pinceau de rayons, défini par deux ouvertures, traverse une feuille métallique mince F, portée, par rapport au sol, à un potentiel d'au moins 50 000 volts. Puis il entre par une petite ouverture, et sans effleurer les bords de cette ouverture, dans un cylindre de Faraday relié au sol et à la cage d'un électromètre. Il se termine dans ce cylindre sur un disque métallique lié à l'aiguille de l'électromètre, et qui, d'abord, est au potentiel du sol. Ce pinceau de rayons réunit donc deux conducteurs dont les potentiels diffèrent de plus de 50 000 volts, et il ne touche aucun autre conducteur : cependant l'aiguille reste immobile, ou du moins, si son potentiel varie, il ne varie pas de $\frac{1}{10}$ de volt.

L'efficacité de la protection électrique produite par le cylindre de Faraday doit être vérifiée à l'avance avec le plus grand soin. Quand cette protection est insuffisante, c'est à dire quand le disque et la feuille métallique F sont réunis par des lignes de force, les rayons X agissent très nettement. Cette action, qui sera expliquée plus loin, a pu faire illusion sur le résultat de l'expérience (¹).

III. Les rayons X (ou l'air qu'ils ont traversé) peuvent donc, sans égaliser leurs potentiels réunir des conducteurs dont les potentiels sont très différents, *pourvu seulement que ces conducteurs n'échangent pas de lignes de force*. On ne peut donc les assimiler même à des fils médiocrement conducteurs. D'autre part, on peut montrer qu'ils égalisent les potentiels de deux conducteurs, même sans les rencontrer, *s'ils rencontrent des lignes de force allant de l'un à l'autre*.

Pour établir cette propriété, je vais d'abord décrire l'expérience même qui me l'a fait entrevoir.

La bobine d'induction et le tube de Crookes sont enfermés dans une grande caisse A

(¹) M. Lafay a décrit dans les *Comptes Rendus*, t. CXXII, p. 837 et 926, séances des 13 et 27 avril 1896 (*L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 134; 18 avril 1896) une expérience identique, mais pour laquelle il donne un résultat contraire à celui que j'indique ; tout en désirant de nouvelles expériences, je maintiens, provisoirement mes conclusions.

entièrement recouverte de papier d'étain. Une paroi de cette caisse est recouverte d'un épais blindage en tôle. A l'intérieur, et contre cette paroi, se trouve le tube de Crookes ; à l'extérieur est un électroscope dont les feuilles sont reliées à un conducteur isolé B. La cage de cet électroscope et la caisse A sont au sol. A cause du blindage, aucun rayon ne peut atteindre l'électroscope ou le conducteur B.

On charge ce conducteur, puis on s'assure que la protection électrique est excellente en excitant la bobine seule, et non le tube. Ceci fait, on excite ce dernier. Aussitôt les feuilles d'or se rapprochent, jusqu'à décharge totale.

Si donc des rayons ont agi, ce sont ceux qui traversent le bois, puis le papier d'étain des faces non blindées, et cela, quoique les rayons les plus rapprochés passent à plus de 40 cm du système B. Si, en effet, on recouvre ces faces par de grandes lames de tôle, toute action disparaît.

Sans ajouter ces lames de tôle, on peut encore empêcher toute action en plaçant l'électroscope et le conducteur B dans une deuxième caisse entourée de papier d'étain, de manière à ramasser dans la région protégée par le blindage de la première face toutes les lignes de force issues du conducteur B.

J'ai été ainsi amené, pour toutes les expériences décrites dans ce travail, à recouvrir par des lames de tôle épaisse de 2 mm environ toutes les faces de la caisse A. Sur un point seulement, j'ai fait dans cette tôle un trou rond de 1 mm, toujours fermé par du papier d'étain, et j'ai adapté sur ce trou un tube de laiton ayant 10 cm de long sur 1 cm de large. J'avais ainsi des rayons X le long d'une direction bien définie *et en aucun autre point*. Je pense qu'en opérant autrement, on s'exposerait à de graves erreurs, et peut-être il ne serait pas difficile d'expliquer ainsi les résultats contradictoires obtenus par divers physiciens.

IV. Dans les expériences faites avec un blindage incomplet, les rayons déchargeaient le conducteur B sans le rencontrer, mais ils rencontraient les charges de signe contraire développées par influence sur la caisse A et sur les murs de la salle. Ceci même est inutile et l'on peut montrer, comme je l'ai dit plus haut, qu'ils amènent l'égalisation des potentiels entre deux conducteurs, sans rencontrer aucun de ces deux conducteurs, pourvu seulement qu'ils rencontrent des lignes de force allant de l'un à l'autre.

Je m'en suis assuré en faisant passer un pinceau de rayons X défini comme je viens de le dire entre deux plaques métalliques, formant condensateur, dont l'une était liée à l'aiguille d'un électromètre. Les rayons n'effleuraient absolument pas ces plaques. Au sortir du condensateur, ils se terminaient contre le fond d'un cylindre de Faraday lié à la caisse A. Ils cheminaient donc dans une région complètement connue, et sans rencontrer aucune charge électrique, même à leur point de départ et à leur point d'arrivée, tous les deux situés au fond de cylindres protecteurs (1).

Plus de cinquante expériences concordantes dans lesquelles j'ai de mon mieux varié les conditions m'ont prouvé qu'il y avait passage d'électricité d'une plaque sur l'autre. La distance des deux plaques a varié entre 3 et 10 cm; leur différence de potentiel entre 2 et 200 volts.

Incidemment, on se rend compte dès à présent que, même en supposant que leurs actions électriques définissent clairement une intensité pour les rayons X, il est illusoire de chercher à vérifier la loi de l'inverse du carré des distances en comptant ces distances à partir du tube de Crookes jusqu'au corps déchargé ; puisqu'en effet, ce corps peut n'ê-

(1) La cage de l'électromètre était reliée à la caisse A. Au début de l'expérience, elle était aussi reliée à l'aiguille, et l'on coupait cette communication seulement quand la plaque reliée à cette aiguille s'était chargée par influence en présence de la 2e plaque. L'aiguille partait ainsi d'un potentiel égal à celui de la cage, et l'on pouvait mesurer en utilisant toute la sensibilité compatible avec l'instrument les variations ultérieures de son potentiel. Une disposition analogue a été employée chaque fois que j'ai eu recours à l'électromètre.

tre pas touché. Il n'y aura, par exemple, aucune raison pour compter la distance jusqu'aux feuilles d'or d'un électroscope plutôt que jusqu'à tout autre point intérieur à la cage de cet électroscope.

V. On peut se demander si, du moins, une discontinuité se manifeste, lorsque les rayons rencontrent le corps qu'ils déchargent. Pour le voir, j'ai d'abord déplacé d'une manière continue le système des deux plaques précédemment défini et j'ai constaté seulement que l'action décroissait à mesure qu'une plus grande partie des rayons cessait de passer entre les deux plaques.

Dans le même ordre d'idées, j'ai recherché si, comme le dit M. Righi, un conducteur exposé aux rayons X acquiert une charge positive.

J'ai donc fait tomber le rayon sur un disque de cuivre, lié à l'aiguille d'un électromètre, et dont le diamètre était juste assez grand pour utiliser tout le faisceau de rayons X. Le disque était protégé électriquement et cependant assez loin de tout conducteur pour que sa capacité fût petite. Une charge positive, même faible, aurait donc pu être décelée. Pourtant je n'ai observé aucune variation certaine du potentiel, et je pense que, s'il y en a eu, elle est restée inférieure au 20ᵉ de volt.

VI. Les expériences qui précèdent prouvent le rôle que la disposition des lignes de force joue dans la décharge par les rayons X. D'autre part, on sait maintenant comment intervient la nature du diélectrique traversé par ces lignes de force.

La décharge se produit dans les gaz, plus rapidement quand le gaz est plus dense (¹) et paraît ne se produire que dans les gaz. A la vérité, M. Thomson a bien dit qu'elle se produit dans tous les diélectriques, mais le résultat contraire paraît bien établi par les expériences de M. Righi et celles de M. Roentgen. En ce qui concerne les diélectriques solides j'ai d'ailleurs vérifié leurs conclusions.

On sait enfin que Thomson, puis Roentgen ont prouvé que de l'air préalablement traversé par des rayons X garde quelque temps la propriété de décharger les corps électrisés.

VII. Il pourra donc paraître naturel d'admettre que, transporté par convection ou par diffusion au voisinage des surfaces électrisées, l'air d'abord traversé par les rayons X vient produire les effets que j'ai signalés.

Je crois pourtant que cette explication est incomplète, et qu'on ne peut se dispenser d'admettre que par le fait qu'ils sont placés dans un champ électrique, et même s'ils sont loin de toute surface électrisée, les gaz traversés par les rayons X acquièrent de nouvelles propriétés.

J'ai fait à ce sujet deux expériences qui, je crois, montrent que l'action de l'air n'est pas due à un simple effet de diffusion.

J'ai de nouveau fait passer un pinceau de rayons entre deux plaques formant condensateur. Seulement, cette fois, ces plaques étaient en toile métallique. L'armature liée à l'aiguille était entourée d'un anneau de garde également en toile métallique, en sorte que la face qu'on regardait par l'autre armature ne pouvait émettre de ligne de force. Le condensateur était enfermé dans une caisse métallique où la convection proprement dite me semble improbable. En tout cas, elle eût été la même entre les armatures du condensateur et hors de ces armatures. De même la diffusion n'eût probablement pas été arrêtée par le grillage qui la forme. Cependant l'action des rayons, énergique lorsqu'ils passaient entre les armatures, devenait insensible lorsqu'ils passaient à l'extérieur. La différence de potentiel entre les deux armatures était 200 volts, leur distance 5 cm.

On pourrait craindre que la toile métallique gênât la diffusion. L'expérience suivante, plus démonstrative, n'est plus sujette à cette critique.

J'employais un condensateur formé par

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 916, séance du avril 1896. Note de M. Benoit et Hurmuzescu. Le résultat a été aussi indiqué par Roentgen.

deux plaques de laiton ayant 20 cm sur 25 cm, écartées de 5 cm. Un sillon rectangulaire découpait dans la partie centrale de la plaque P une plaque P′ ayant 5 cm sur 10 cm, qui était reliée à l'aiguille d'un électromètre. Le reste de la plaque P était relié à la cage de cet électromètre, et aussi, au début, à la plaque P′.

On établissait entre P et Q une différence de potentiel ; puis on coupait la communication entre la cage et l'aiguille de l'électromètre. La plaque P′ se trouvait alors isolée, et cependant au même potentiel que le reste de la plaque P, qui jouait dès lors le rôle d'anneau de garde. On faisait alors passer les rayons.

Le pinceau de rayons, employé pour cette expérience, avait dans sa partie la plus large 1,5 cm, pénombre comprise.

Quand ces rayons coupaient les lignes de force issues de la plaque P′, il y avait décharge.

Quand ils cessaient de les couper (un déplacement latéral de 1,5 cm suffisait pour cela) il n'y avait plus de décharge sensible. Pourtant leur position, relativement à la plaque P′, était peu modifiée, et nul obstacle ne les séparait des lignes de force émanées de P′.

On peut ainsi regarder comme démontré qu'une atmosphère soumise à l'action des rayons X, mais laissée en repos, amène la décharge d'un corps électrisé *seulement quand elle est traversée par des lignes de force émanées de ce corps*, la diffusion de cette atmosphère jouant un rôle pratiquement nul.

VIII. En définitive je pense que les faits précédents et ceux que l'on connaissait déjà sont reliés simplement de la manière suivante :

Les rayons de Roentgen ne déchargent pas les corps électrisés, mais indépendamment de l'existence même d'un champ électrique, altèrent la nature du gaz qu'ils traversent. Cette altération est définie par le fait que si, par la suite, cette masse gazeuse est située sur le trajet d'un tube de force, les masses électriques situées aux extrémités du tube disparaissent quand le tube de force est en entier contenu dans le gaz. Quand une partie du tube de force est située dans un diélectrique solide ou liquide, il n'y a plus décharge complète, mais simplement un effet de condensation *dont l'effet ultime est le même que si la portion du tube de force contenue dans le gaz était devenue conductrice*.

Cet énoncé est exempt d'hypothèses et donne une règle pratique assez commode pour savoir si dans tel ou tel cas on aura ou on n'aura pas de décharge.

A la condition de faire quelques hypothèses, on pourra pénétrer plus avant dans la nature probable du phénomène. On pourra supposer que l'altération subie par un gaz le long d'un rayon de Roentgen consiste en ceci : que des charges positives et négatives sont développées en quantités égales, tout le long du rayon. En l'absence de tout champ électrique, l'ensemble de ces charges constitue un fluide neutre se diffusant de proche en proche avec une vitesse inconnue mais faible. Si au contraire, il existe un champ électrique les charges positives acquerront une vitesse moyenne plus grande dans la direction de la force électrique, les charges négatives une vitesse plus grande dans la direction opposée. Le résultat final sera que les deux systèmes filtreront l'un au travers de l'autre le long des tubes de force jusqu'à ce qu'ils rencontrent des charges de nom contraire ou un obstacle mécanique tel qu'un solide ou un liquide. La façon dont l'électricité s'écoulerait le long des tubes de force différerait ainsi profondément de l'électrolyse ordinaire et de la diffusion proprement dite.

IX. Si de l'électricité neutre est dissociée le long d'un rayon X, il doit être possible de la mesurer, et de vérifier que, pour un rayonnement donné, c'est une constante indépendante du champ électrique qui permet de la déceler, et capable de caractériser ce rayonnement. Je crois avoir réussi à faire cette mesure et à vérifier cette constance, et je rendrai compte ultérieurement des expé- que j'ai tentées dans ce sens.

Enfin il pourra être intéressant même, à la condition qu'on s'aperçoive qu'on fait de nouvelles hypothèses, d'exprimer la théorie qui précède en disant que sur leur passage, les rayons de Roentgen brisent certaines molécules en morceaux, en ions, qui, suivant un postulat fondamental de la théorie des ions, sont électrisés par le fait même de leur séparation, et qui chemineraient dans un champ électrique suivant le mécanisme précédemment décrit. Grâce à cette nouvelle illustration, on pourra prévoir que ces gaz chargés d'ions, seront chimiquement plus actifs que des gaz non soumis à l'action des rayons de Roentgen.

Je suis heureux, en terminant, d'adresser mes vifs remerciements à M. Brillouin et M. Violle, professeurs à l'École Normale, pour les conseils qu'ils m'ont donnés durant l'exécution de ce travail, ainsi qu'à M. Langevin, élève à l'École Normale, qui m'a consacré tout son temps et dont la collaboration m'a été très utile (1).

Jean Perrin,
Agrégé-préparateur à l'Ecole Normale

SUR L'ACTION PHOTOGRAPHIQUE DES RAYONS X.

Je veux seulement rapporter brièvement quelques expériences qui, quoique négatives, peuvent cependant présenter un certain intérêt.

On s'est demandé si l'action photographique des rayons X était directe, ou si elle provenait d'une action secondaire ayant pour intermédiaire le support de la substance sensible ; la meilleure manière d'élucider la question est d'opérer avec des plaques où cette substance n'est mélangée à aucun support, par exemple avec celles qui servent pour la daguerréotypie. J'ai donc préparé un certain nombre de ces plaques, en augmentant leur sensibilité par une courte exposition à la vapeur de brome. En opérant alors, à plusieurs reprises, avec un excellent tube focus de M. Chabaud (à lame d'aluminium), placé à 10 cm environ, je n'ai obtenu aucune impression photographique. La plus longue durée d'exposition a été de 40 minutes. Ce résultat me semble favorable à la seconde des hypothèses énoncées plus haut.

Dans une des expériences, une partie de la plaque d'argent sensibilisée avait été recouverte de collodion : l'expérience a été également négative.

Enfin le même résultat a été obtenu en exposant pendant six jours une de ces plaques aux radiations de l'azotate d'urane ; le même azotate d'urane a donné au contraire de bonnes épreuves, après deux journées seulement, avec des plaques ordinaires au gélatino-bromure.

Ch. Maurain,
Agrégé-préparateur au Collège de France.

EXPÉRIENCES SUR LES RAYONS DE ROENTGEN

Le tube employé dans ces expériences était un tube focus de forme elliptique à trois électrodes ; deux d'entre elles étaient constituées par deux petits miroirs concave d'aluminium placés en regard vers les extrémités du tube et supportés par des tiges conductrices disposées suivant le grand axe du tube ; la troisième était un disque de platine incliné à 45° par rapport à cet axe, placé à égale distance des deux électrodes d'aluminium et fixé à une tige conductrice perpendiculaire à celles qui supportent celles-ci. J'ai obtenu les résultats suivants :

1. Les électrodes concaves formant respectivement l'anode et la cathode, et le disque étant isolé, ce disque agit comme une source de faible puissance, principalement par la face qui regarde la cathode. L'autre face n'agit probablement que par suite d'une transparence partielle du platine.

2. Lorsqu'on réunit le disque à la cathode,

(1) Travail fait au Laboratoire de physique de l'Ecole Normale, terminé le 10 juin.

son pouvoir émissif devient pratiquement nul.

3. Si on le réunit à l'anode, il agit comme une source beaucoup plus puissante.

4. Si on intercale sur le circuit reliant le disque à l'anode une machine de Wimshurst en action, le disque agit comme une source très puissante lorsqu'il se trouve chargé positivement; si la machine est renversée de manière à charger le disque négativement, il n'agit plus que comme une très faible source.

5. Si l'on réunit les deux pôles de la machine de manière à relier directement le disque à l'anode, l'action du disque est tantôt augmentée, tantôt diminuée. Avec un vide peu élevé, tel que la décharge de la bobine d'induction puisse traverser facilement le tube, l'action du disque est moins grande avec que sans la machine; mais si le vide est suffisamment élevé pour que la décharge ne passe qu'avec difficulté, cette action est considérablement augmentée par l'intervention de la machine en mouvement.

En d'autres termes, la décharge continue peut être considérée comme maintenant dissociés une quantité d'atomes suffisante pour conduire le courant, et dispense ainsi de chauffer le tube comme il est souvent nécessaire de le faire quand le vide est trop élevé.

6. Si la machine est intercalée entre le disque et la cathode, elle ne produit une augmentation de l'action que si elle a pour effet de maintenir une charge positive sur le disque de platine.

7. La machine étant enlevée, les résultats sont les meilleurs quand les connexions sont telles que l'une des électrodes d'aluminium soit la cathode et le disque de platine l'anode, la charge étant concentrée sur celui-ci et non sur une surface plus large (quoique dans le cas d'un vide extrêmement élevé une anode de plus grande surface puisse être préférable).

8. L'addition de la machine entre le disque et l'autre électrode peut augmenter considérablement l'action.

9. Il est avantageux de porter le disque à un potentiel positif et de le maintenir à ce potentiel en évitant la décharge en aigrette ou autre mode de déperdition et en plaçant la machine en série avec la bobine lorsque le vide atteint un très haut degré. Le mode ordinaire de connexion des tubes de vide peu élevé au moyen d'un crochet ne convient pas pour les tubes où le vide est très élevé.

10. Quand la bobine est reliée aux deux électrodes et est en action, le disque de platine étant isolé, celui-ci se charge et un fil relié à lui donne de petites étincelles. Cette charge était toujours positive dans mes expériences, quels que soient le mode de connexions et le sens du courant; elle résulte sans doute des décharges d'électricité négative en aigrette qui se produisent sur les autres électrodes. D'ailleurs, quelle qu'en soit la cause, cette charge est manifeste et elle est avantageuse au point de vue de la production des rayons X, même si le disque est isolé. Cette remarque, jointe aux faits indiqués précédemment, montre que le disque agit avec plus de puissance quand il est relié à l'anode, quand il sert lui même d'anode ou quand il est fortement électrisé par un procédé quelconque.

A propos de quelques expériences faites avec ce tube, je passe maintenant à un autre sujet.

Il a été trouvé en France, par M. Lafay je crois, que les rayons X, qui ne sont pas ordinairement affectés par un champ magnétique, peuvent l'être s'ils ont passé à travers une plaque électrisée [1], comme s'ils charriaient des particules électrisées et alors déviables magnétiquement.

Ce résultat aurait une très grande importance s'il est exact, mais je n'ai pu le vérifier, car les expériences sur la déviation magnétique comportent une cause d'erreur capitale: le champ d'un aimant puissant agit sur les rayons cathodiques du tube même à une grande distance de ceux-ci et peut ainsi modifier la position de la source de rayons X. Mes expériences les plus soignées ont porté, pour cette raison, sur la rotation (twisting) de rayons dirigés suivant les lignes de force magnétique. En placant un tube de Crookes (de

[1] Voir l'article de M. Perrin, p. 545 (N. D. L. R.).

la forme classique qui donne une image d'une croix d'aluminium) au milieu d'un solénoïde parcouru par un courant, j'ai observé une rotation de l'image de la croix et le sens de cette rotation se renversait en même temps que le sens du courant. Par conséquent les rayons cathodiques se meuvent en spirale le long des lignes de force magnétique. En est il de même pour les rayons X ? Mes expériences n'ont pu me donner une réponse, même lorsque je faisais passer les rayons X à travers une lame électrisée, comme dans les expériences de M. Lafay.

Dans ces dernières expériences j'employais un électroaimant de Faraday dont les pièces polaires étaient distantes de 5,6 cm et donnant au milieu de cet interval, un champ de 5 600 unités C. G. S. lorsqu'il était traversé par un courant fourni par 15 à 20 accumulateurs. Une calotte sphérique d'aluminium était placée au centre de ce champ ; ses bords étaient recouverts de paraffine fondue et elle était électrisée jusqu'à ce qu'une étincelle soit sur le point d'éclater entre son sommet et la pièce polaire la plus proche.

Le tube de Roentgen était placé de façon à envoyer ses rayons dans le canal creusé dans la première pièce polaire ; ils rencontraient la calotte d'aluminium par sa partie convexe, traversaient un espace d'air de 2,8 cm où le champ magnétique était de 5600 unités C. G. S., s'engageaient dans le canal de la seconde pièce polaire et rencontraient un disque de plaque sensible photographique qu'ils impressionnaient.

Intérieurement à la calotte d'aluminium se trouvaient tendus parallèlement deux fils de cuivre que les rayons rencontraient avant d'entrer dans le champ magnétique et qui en donnaient une image sur la plaque photographique. Un troisième fil, parallèle aux deux précédents, était tendu dans le canal (en dehors du champ), près de la plaque sensible. Par le développement de la plaque on obtenait des images des trois fils parallèles entre elles.

On examinait micrométriquement si le parallélisme se maintenait lorsqu'on renversait le sens de l'électrisation de la calotte ou celui du courant magnétisant. On n'a pu observer la plus légère déviation angulaire de l'image du couple de fils par rapport à celle du troisième fil.

La surface d'aluminium était, dans ces expériences, portée au potentiel d'environ 40000 volts ; mais il ne paraît pas que la valeur du potentiel ait une grande influence sur le phénomène en comparaison de celle que peut avoir la densité électrique ; aussi est-il préférable de savoir que cette densité avait la valeur la plus grande qu'il était possible de lui donner : elle était tout juste assez peu élevée pour ne pas qu'une étincelle jaillisse du sommet de la calotte et ne voile la plaque photographique. On commençait, avant de placer cette plaque, par élever le potentiel jusqu'à ce qu'une étincelle jaillisse, puis on le réduisait à l'aide d'un interrupteur placé en dérivation, dont les pôles étaient distants de 2,3 cm et où jaillissaient les étincelles pendant la durée de l'expérience.

Mais bien que le résultat obtenu dans ces expériences fût négatif, il était possible qu'il devînt positif dans un champ électrique produit dans un milieu autre que l'air — par suite d'un effet analogue à celui qui se manifeste dans la rotation magnétique du plan de polarisation. Pour s'en assurer, une plaque de verre de 7,3 mm d'épaisseur était recouverte sur chaque face d'une mince feuille d'aluminium recouverte elle même d'une couche de paraffine et ces deux feuilles étaient électrisées. La différence de potentiel qui pouvait être maintenue entre les faces du verre était beaucoup plus grande que celle qu'il était possible d'obtenir dans le cas de l'air ; elle était obtenue au moyen d'une machine donnant entre ses pôles (de 2,34 cm de diamètre) un flux d'étincelles de 7,5 cm de longueur et était d'environ 100 000 volts.

Cette espèce de condensateur était placé dans le même champ magnétique que dans les expériences précédentes, de manière à ce que les lignes de force magnétique et de force

électrique coïncident, et les trois fils parallèles étaient placés, deux d'un côté de la plaque de verre, le troisième de l'autre côté. On faisait alors passer les rayons X à travers le verre, le long des lignes de force magnétique et électrique, et l'on obtenait une image des fils sur une plaque sensible (ou quelquefois sur un écran fluorescent). Comme dans les expériences précédentes aucune rotation ne pût être decelée.

Des expériences du même genre furent faites avec une plus grande épaisseur d'air entre des plaques bombées chargées d'électricité de noms contraires, etc., mais le résultat fut le même. J'en conclus donc, jusqu'à ce que les détails d'une expérience positive soit publiée, qu'il n'est pas possible d'électriser les rayons X par leur passage à travers une surface électrisée quelle que soit la densité électrique sur cette surface et que le milieu soit l'air ou le verre.

M. Benjamin Davies m'a assisté dans l'exécution de ces expériences (¹).

Oliver Lodge
Membre de la Société Royale de Londres

LE TRAMWAY ÉLECTRIQUE
DE LA PLACE
DE LA RÉPUBLIQUE A ROMAINVILLE

Nous avons examiné précédemment (²) toute la partie théorique du tramway de Romainville ; passons à la partie descriptive.

La figure 7 donne le plan des différents bâtiments, formant usine et dépôt, édifiés du côté gauche de la rue de Paris, sur la commune des Lilas, à 550 mètres de la porte de Romainville.

On pénètre dans les bâtiments par une allée A de 52 mètres de long, au milieu de laquelle se trouve la voie d'entrée du dépôt avec bascule et plaque tournante C ; l'allée est bordée à gauche d'une série de petites constructions légères D D abritant les divers services administratifs de la Société.

En avant du dépôt se trouve un petit bâtiment E servant d'atelier pour les menues réparations. Le dépôt proprement dit M est formé par un grand hall métallique de 49 m de long, 25 m de large et 12 m de haut, contenant 15 voies longitudinales *l* de 18 m de longueur aboutissant à la voie transversale d'un chariot transbordeur *t* servant aux manœuvres. Sept des voies sont munies de fosses *u* pour la visite des organes électriques des voitures.

Tout le reste du terrain rectangulaire de 66 mètres sur 41 mètres est occupé par l'usine proprement dite située en grande partie à droite du dépôt.

En avant de la chaufferie se trouve un parc à charbon F à ciel ouvert ainsi que la cheminée V de 38 mètres de hauteur. La chaufferie G, bâtiment métallique de 24 mètres sur 16 mètres, a été construite pour loger 6 chaudières, mais n'en contient actuellement que 3. Ces générateurs H, fournis par la maison Garnier, sont du type semi-tubulaire, avec 2 bouilleurs surmontés d'un faisceau de tubes. Ils ont chacun 180 m² de surface de chauffe et sont capables de vaporiser 1 800 litres d'eau à l'heure à la pression de 7 à 8 kgs cm². L'eau d'alimentation qui arrive dans les chaudières par la conduite *a a*, est puisée dans une bâche *b* de 3 m³ de capacité au moyen de 2 petits chevaux *c c* recevant la vapeur par une petite conduite *d d* branchée sur la conduite principale *e e e* à la sortie des chaudières. La bâche *b* est desservie en temps ordinaire par une conduite, munie d'un compteur, prise sur la distribution d'eau de la Ville. Elle pourrait en cas de besoin recevoir l'eau de condensation des machines. Elle est reliée en outre à un grand réservoir *f* de 100 m³ de capacité, qu'on laisse rempli d'eau, de façon à avoir toujours une réserve d'eau suffisante pour faire marcher les chaudières pendant un certain temps, même dans le cas où l'eau de la Ville ferait défaut.

La salle des machines J, construite avec

(¹) *The Electrician* du 5 juin, p. 169.

(²) Voir *L'Éclairage Electrique*, t. VII, p. 433; 6 juin 1896.

charpente métallique, mesure 29 m de long sur 20 m de large ; elle communique avec la chaufferie et avec le dépôt. Une cloison, placée dans le fond, isole de la salle un petit local *g* destiné aux mécaniciens et un espace *h* ménagé derrière le tableau de distribution X, pour établir les connexions électriques.

La salle contient 3 groupes de moteurs et dynamos, mais l'emplacement est suffisant pour en loger 6. Lorsque l'installation actuelle sera devenue insuffisante, tout le matériel moteur, chaudières, machines à vapeur et dynamos, pourra donc être doublé très facilement, sans qu'on ait besoin de toucher en rien aux bâtiments existants.

Les 3 moteurs, de chacun 200 chevaux,

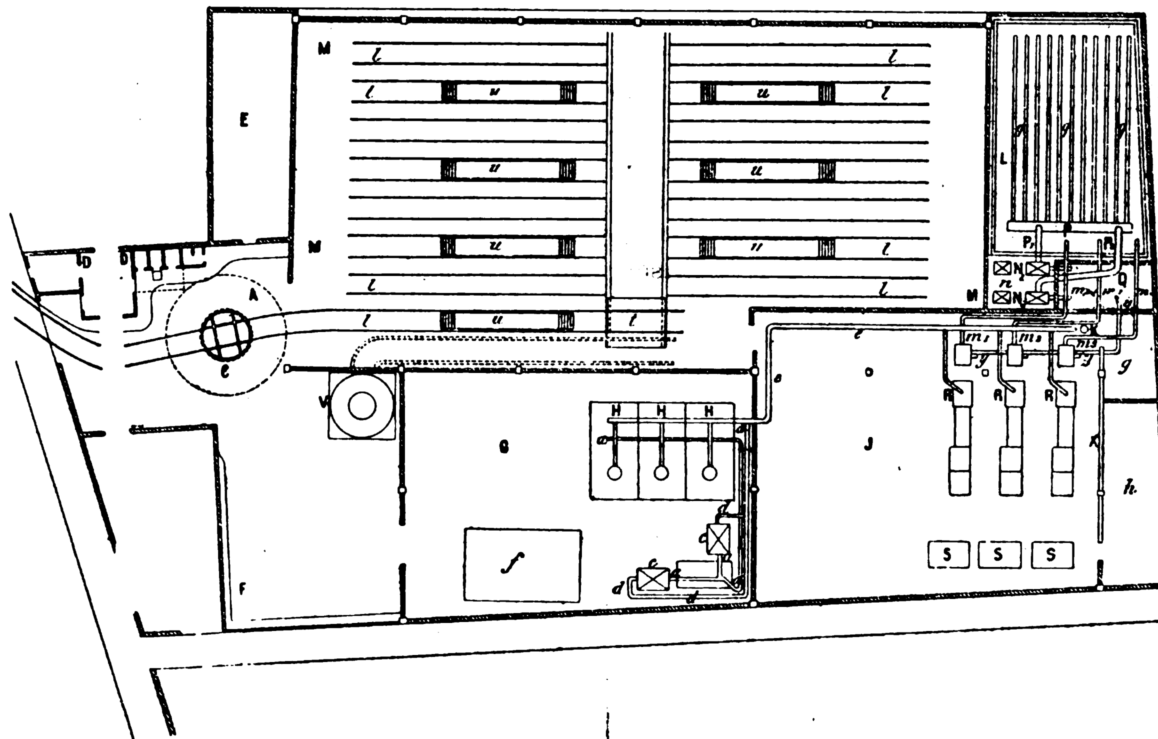


Fig. 7. — Plan de l'usine et du dépôt des Lilas du tramway Claret et Vuilleumier.

sont du type ordinaire Garnier monocylindrique, avec condenseur à l'arrière. La vapeur arrive des chaudières, à la pression de 7 kgs, par la conduite principale *eee* terminée par un purgeur automatique. Une conduite verticale en tôle K, qui traverse la salle des machines, permet de faire marcher en cas de besoin les moteurs avec l'échappement libre. Mais en général les machines à vapeur utilisent toujours la condensation, avec un vide de 65 à 70 cm. L'eau servant à la condensation étant prise comme l'eau d'alimentation sur la canalisation de la Ville, c'est à dire coûtant très cher, on a installé un dispositif au moyen duquel la même eau ressert indéfiniment, sauf quelques pertes légères inévitables

L'eau froide est aspirée dans les condenseurs par 3 conduites souterraines m_1, m_2 m_3 débouchant dans un grand bassin L en maçonnerie, de 16 m de longueur et 10 m de largeur, établi à ciel ouvert derrière le bâtiment du dépôt M. L'eau chaude sortant des condenseurs par la conduite *y* tombe dans un petit bassin Q de 7 m de long et 3 m de large construit également à ciel ouvert, à côté du bâtiment J de la salle des machines et du grand bassin L. L'eau chaude de ce petit bassin Q est puisée par 2 pompes rotatives N, N_1, montées dans une petite pièce

en sous-sol *n* et actionnées par courroie à l'aide de deux moteurs électriques Hillairet, type Manchester, de 10 chevaux, placés au rez-de-chaussée en *n*. L'eau chaude est envoyée par les pompes, au moyen de 2 conduites P_1 P_2 et d'un collecteur P dans un réfrigérant à air libre composé de 11 tubes *q* portant sur leur génératrice supérieure un grand nombre d'ouvertures de faible diamètre. L'eau s'échappe par ces orifices sous forme de jets de 1,50 m de hauteur, se refroidit au contact de l'air et retombe dans le grand bassin L, au-dessus duquel le réfrigérent est établi.

Les 3 machines à vapeur R sont disposées à 3 mètres d'intervalle et portent chacune un volant de 5 mètres de diamètre et 0,70 m de largeur, tournant à la vitesse angulaire de 85 tours par minute et commandant par une courroie de 0,65 m de largeur en cuir avec

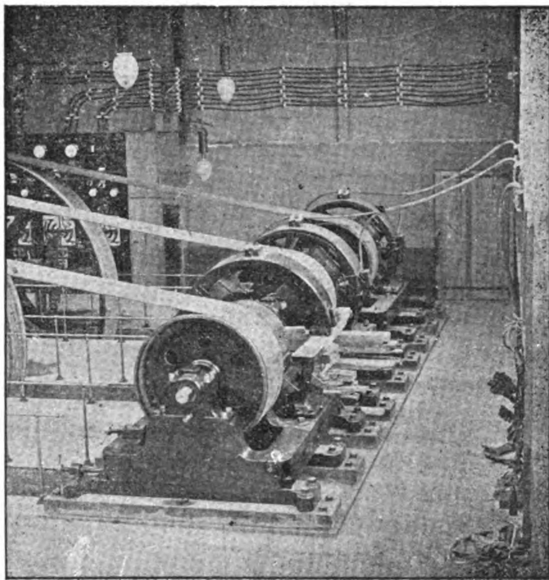


Fig. 8. — Dynamos de la station centrale du tramway Claret et Vuilleumier.

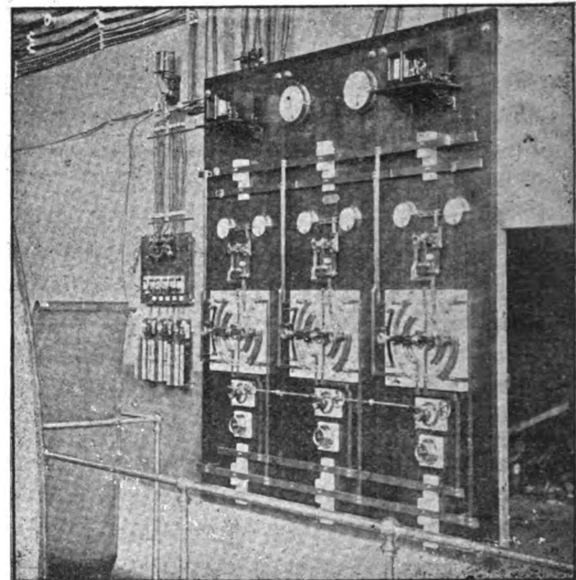


Fig 9. — Tableau de distribution de la station centrale du tramway de Claret et Vuilleumier.

bords renforcés, la poulie de la dynamo, de 1,40 m de diamètre et 0,75 m de largeur. La distance entre l'axe du volant et l'axe de la poulie est de 6,50 m. Un dispositif spécial ferme automatiquement l'admission de vapeur en cas de chute de la courroie.

Les dynamos S à 4 pôles, construites par la maison Hillairet, se composent d'un bâti circulaire (voir fig. 8) monté sur glissières avec rappel à vis. L'induit, en forme d'anneau de 1 m de diamètre et 0,60 de largeur, tourne dans des paliers à bagues et porte un collecteur de 0,90 m de diamètre et 0,25 m de largeur possédant 312 touches. Le courant est recueilli par 4 balais différents calés à 90° et composés chacun de 4 lames de charbon de 0,35 × 0,15 de section. Les 4 balais sont réunis ensemble deux à deux. Les porte-balais sont montés sur un croisillon qu'on peut faire tourner à l'aide d'un secteur denté et d'un pignon commandés par un petit volant.

Les dynamos, dont la vitesse angulaire est de 300 tours par minute et la puissance de 150 kilowatts, peuvent fournir 275 ampères à la tension de 550 volts. Elles sont hyper-compoundées et les connexions des bobines à gros fil et à fil fin sont établies sur des bornes fixées sur le bâti de la machine.

Des bornes de connexion de chaque dynamo partent 3 gros câbles parcourus par le cou-

rant principal, et un petit fil faisant partie du circuit en shunt. Les 3 gros câbles ont chacun 300 mm² de section et sont isolés par 2 couches de caoutchouc vulcanisé. Les 9 câbles, tous sous rubans, provenant des 3 dynamos sont placés côte à côte sur des isolateurs le long des murs, comme on le voit sur la figure 8, et se rendent au tableau placé dans le fond de la salle.

Le tableau de distribution, construit par la maison Clémançon et représenté sur la figure 9, mesure 3 m × 3 m. La disposition des appareils y est très simple et se reproduit d'une façon identique pour chacune des 3 dynamos. L'usine fournissant à la fois le courant pour la traction du tramway et pour l'éclairage de la ligne, le tableau porte 4 barres générales de connexion en cuivre rouge formant 2 circuits distincts : en haut sont les barres positives du tramway et de l'éclairage ; en bas sont les 2 barres correspondant au pôle négatif de la dynamo. Le circuit d'éclairage n'est jamais desservi que par une seule machine, tandis que le circuit de traction demande quelquefois 2 machines. Dans ce cas les 2 dynamos servant à la traction se trouvent réunies en parallèle par une barre de compensation placée à la partie inférieure du tableau, au dessus des 2 barres négatives. Tout en haut du tableau se trouvent 2 voltmètres de 600 volts, branchés, l'un sur les barres du tramway, l'autre sur les barres de l'éclairage. Le voltmètre et l'ampèremètre enregistreurs qui sont à côté peuvent être mis sur l'un ou l'autre des circuits. Au dessous des barres positives le tableau porte pour chaque dynamo un voltmètre de 600 volts et un ampèremètre de 300 ampèremètres, puis en allant progressivement vers le bas, un interrupteur de 300 ampères à rupture rapide, un commutateur principal, un commutateur pour l'excitation en shunt et enfin un commutateur pour l'excitation en série. Ces 2 derniers appareils sont manœuvrés à la main par de petits volants ; le rhéostat du shunt est divisé en 18 parties et celui du circuit en série en 4 parties seulement. Le commutateur principal se compose de 3 barres annulaires sur lesquelles se déplace un levier qui peut être maintenu enclanché par un petit verrou de sureté dans six positions différentes. Lorsque le levier est dans la position horizontale, la dynamo a tous ses circuits ouverts. L'interrupteur ayant été au préalable enclanché, si l'on déplace le levier au dessus ou au dessous de cette position neutre, on a d'un côté 2 positions : dynamo excitée en shunt pour la lumière mais encore isolée, et dynamo reliée au circuit de lumière ; et de l'autre côté 3 positions : circuit du shunt couplé, circuits en shunt et en série couplés, enfin dynamo reliée au circuit de traction.

Le commutateur principal permet de mettre une dynamo, à volonté, soit sur le circuit de lumière soit sur le circuit de traction. Si l'on a besoin à un moment donné de 2 dynamos pour la traction il suffit de mettre le commutateur de la seconde dynamo sur la position traction ; cette nouvelle dynamo se trouvera d'elle même couplée en parallèle avec la première. Les dynamos sont très fortement hypercoumpoundées, c'est à dire que la force électromotrice de la machine non seulement reste constante, mais croit même d'une façon sensible lorsque le débit augmente. On maintient ainsi la tension aux barres du tableau, entre 530 volts environ pour un débit total très faible et 550 volts pour le débit maximum. L'excitation des dynamos suffit presque toujours pour effectuer automatiquement ce réglage ; une fois les dynamos en marche on n'a presque jamais besoin de toucher aux rhéostats de réglage. Ces rhéostats ne sont guère manœuvrés qu'au moment du démarrage des dynamos, ou bien pour mettre la machine du circuit de lumière au circuit de traction ou vice-versa.

L'éclairage public n'avait été prévu au début que depuis la place de la République jusqu'à la rue Haxo. La ville a demandé ensuite à ce que l'éclairage soit continué jusqu'à la porte de Romainville. Mais à ce moment les canalisations étant déjà établies, cette partie de

l'avenue Gambetta n'a pu être reliée au circuit principal d'éclairage. Cet éclairage supplémentaire est commandé par un petit tableau spécial, placé à gauche du grand tableau, (voir fig. 9), qui règle également le courant consommé dans l'usine. Ce petit tableau porte un inverseur permettant de prendre le courant soit sur les barres d'éclairage soit sur les barres de traction. Le courant se divise ensuite en 5 circuits à 500 volts munis chacun d'un petit interrupteur.

Le premier dessert les moteurs des pompes ; le second, des lampes à incandescence de 110 volts, montées par 5 en série pour l'éclairage des bureaux ; le troisième, une série de 9 lampes en arc de 10 ampères pour l'éclairage de l'usine ; le quatrième, 9 lampes à arc de 10 ampères en série, dont 3 dans l'usine et 6

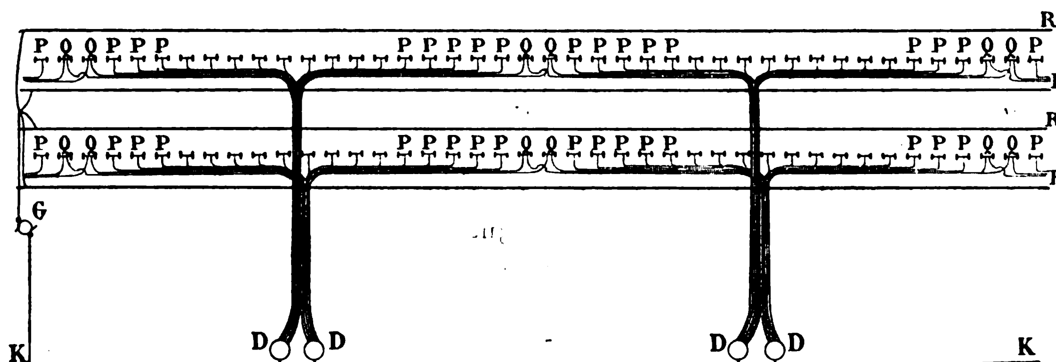


Fig. 10. — Schéma de la canalisation du tramway sur une ligne à double voie (¹).

sur la partie de l'avenue Gambetta voisine de la porte de Romainville ; enfin le cinquième, une série de 9 lampes à arc de 10 ampères pour l'éclairage de la partie de l'avenue Gam-

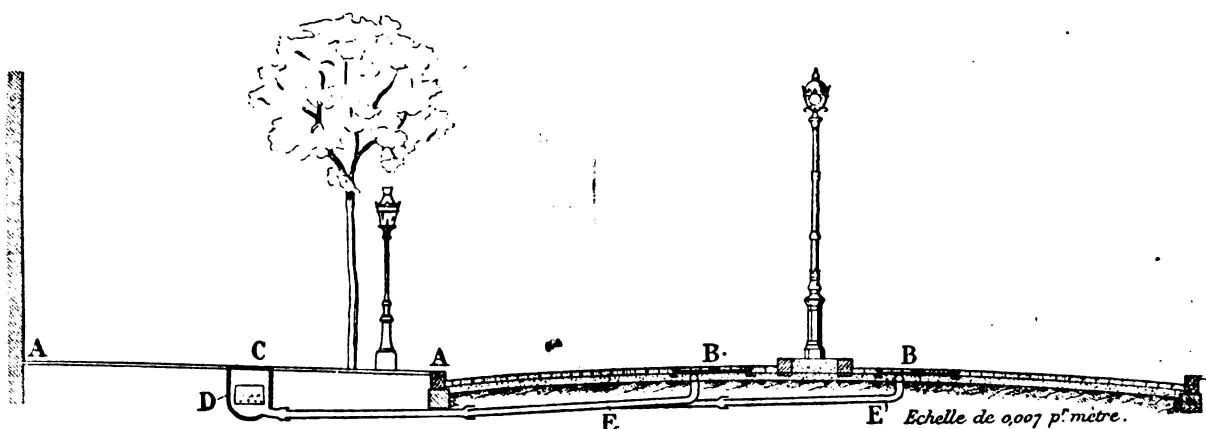


Fig. 11. — Coupe transversale de la voie.

betta voisine de la rue Haxo. Les 3 derniers circuits portent chacun un rhéostat pour le réglage des arc.

Tous les câbles de distribution sortant du tableau sont posés sur des isolateurs, le long des murs, dans l'intérieur de l'usine, mais dès la sortie de l'usine ils sont enfouis sous terre.

Des barres positive et négative du circuit lumière partent 2 câbles isolés au jute imprégné d'un enduit isolant, puis protégés par un double tube de plomb et une armature en fer feuillard et enfin recouverts extérieure-

(¹) Les figures schématiques de cet article sont dues à M. Lauriol, ingénieur des Ponts et Chaussées ; les clichés nous ont été prêtés par la *Revue générale des Sciences* où a paru (15 avril 1896) l'article de M. Lauriol.

ment d'un matelas de filin. Ces câbles, d'une longueur totale de 4 570 m, ont une section de 134 mm² depuis l'usine jusqu'à la rue Servan, sur une longueur de 3390 m, et une section de 72 mm² seulement depuis la rue Servan jusqu'à la place de la République, c'est à dire sur une longueur de 1 180 m.

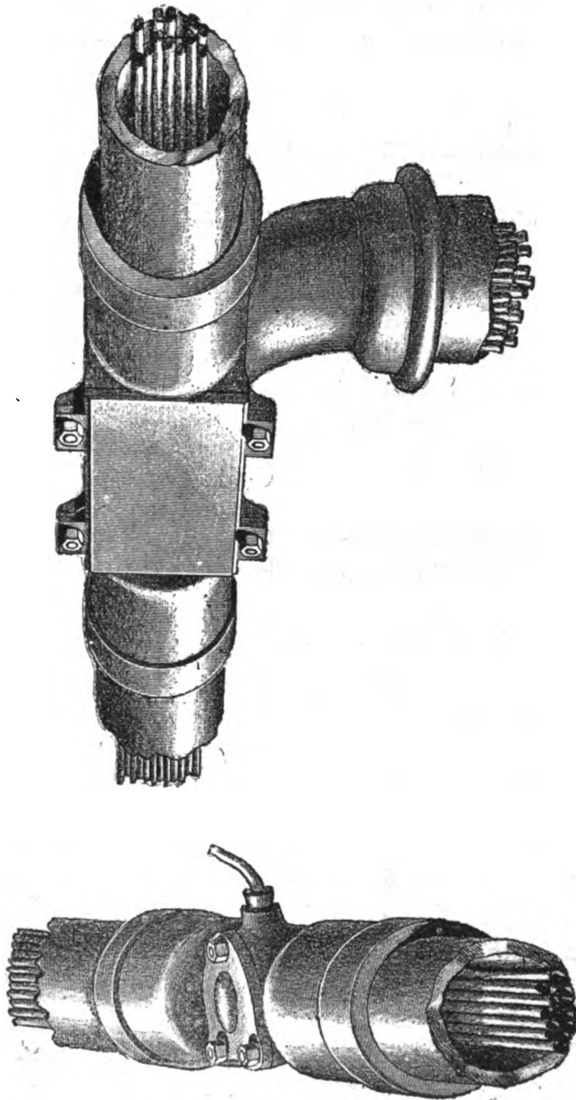


Fig. 12. — Raccords de la canalisation.

Deux câbles isolés du même type partent de la barre positive du circuit traction et bifurquent à la sortie de l'usine; l'un qui a 4 570 m de longueur et 297 mm² de section, se dirige sur Paris, l'autre qui a 2 376 m de longueur et 227 mm² de section se rend à Romainville,

La barre négative du circuit traction est reliée à la voie de roulement du tramway, c'est à dire à la terre, à l'aide de 6 petits câbles sous rubans isolés au caoutchouc, partant du tableau de distribution et ayant chacun une section de 75 mm², soit au total 450 mm² de section. Ces fils sont posés à 0,20 m au dessous du sol, à l'extérieur des voies. Un de ces fils est réuni en face l'usine à toutes les voies. Deux autres fils sont soudés, à 300 m de l'usine, aux deux fils de terre de la voie unique du côté de Romainville. Les 3 derniers fils négatifs sont soudés à 300, 600 et 900 m de l'usine au fil de terre de la ligne de Paris. Nous verrons un peu plus loin comment est posé ce fil de terre destiné à assurer une bonne conductibilité entre les diverses parties de la voie de roulement.

Tous les câbles de distribution étant armés sont posés directement en terre sans l'intermédiaire d'aucun conduit ou caniveau.

Le câble de traction de Romainville a été placé seul dans une tranchée de 0,70 m de profondeur et 0,30 m de largeur, creusée à l'extérieur de la voie, soit sous l'un des trottoirs de la rue, soit sur l'un des côtés de la chaussée.

Du côté de Paris, la tranchée a été creusée sous l'un des trottoirs de la rue, à 0,70 m de profondeur, avec une largeur de 0,50 m. De l'usine à la porte de Romainville et ensuite dans Paris jusqu'à la rue Haxo, la tranchée renferme 3 câbles : le câble de traction et les deux câbles de lumière. Dans l'avenue Gambetta depuis la rue Haxo, et dans l'avenue de la République, c'est à dire sur le reste de la ligne, un quatrième câble sous plomb isolé au caoutchouc, de 8 mm² de section, formant la partie longitudinale des circuits de lampes à arc en série, est posé dans la tranchée à côté des 3 câbles de distribution. Dans l'avenue Gambetta, où les candélabres, d'un modèle analogue à celui des boulevards, sont placés sur chaque trottoir, au lieu d'être au milieu de la chaussée, comme avenue de la

République, on a mis un circuit de lampes à arc sous chacun des deux trottoirs;

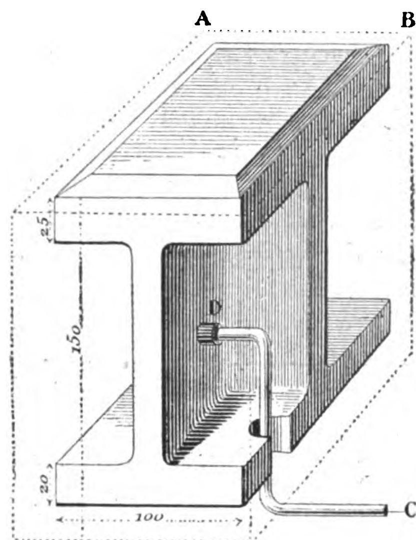


Fig. 14. — Pavé métallique du tramway.

l'un d'eux est logé dans la même tranchée que les câbles principaux, l'autre est placé dans une petite tranchée creusée sous l'autre trottoir.

Les candélabres, d'un modèle analogue à celui des boulevards, placés sur l'avenue de la République et l'avenue Gambetta, au nombre total de 123, et renfermant des régulateurs Eck de 10 ampères, produisent un éclairage très brillant de la voie. Ces 123 arcs sont répartis en 14 circuits dont 12 circuits de 9 lampes en série branchés surle câble principal de lumière, et 2 autres circuits partant directement de l'usine. La puissance totale demandée à la dynamo d'éclairage est donc d'environ 140 ampères.

Chaque candélabre électrique est desservi par une boucle du fil du circuit des arcs. Les 2 fils de cette boucle sont enfilés dans une canalisation transversale formée de 1, 2 ou 3

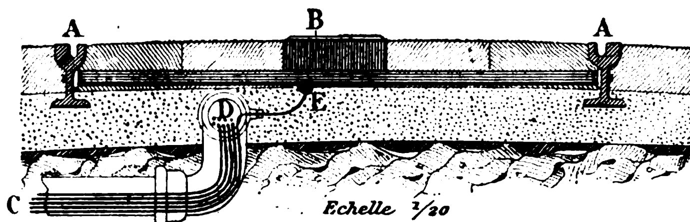


Fig. 13. — Coupe transversale de la voie à grande échelle.

tubes de fonte, de 0,60 m de diamètre intérieur, réunis bout à bout par des joints recouverts de caoutchouc.

Tous les 95 m, le câble principal du tramway traverse une caisse en fonte accolée à la tranchée principale et contenant un distributeur si la ligne est à simple voie et deux distributeurs dans la ligne à double voie et dans les garages de la simple voie.

La figure 10 montre le schéma de la canalisation sur la ligne à double voie. Le pôle négatif de la dynamo G se trouve relié à la voie de roulement par les 4 rails R des 2 voies, réunis métalliquement dans chaque voie et ensuite accouplés deux à deux. Le pôle positif de la dynamo G est relié au câble isolé K desservant tous les 95 m un poste de 2 distributeurs D D. Deux faisceaux, placés côte à côte transversalement aux voies, et comptant chacun 21 fils, partent des 2 distributeurs D et aboutissent au milieu de chacune des 2 voies. Chaque faisceau se divise ensuite en 2 groupes, l'un de 10, l'autre de 11 fils, disposés longitudinalement entre les rails R à droite et à gauche du tronçon transversal. Les fils séparés de chaque groupe longitudinal, se détachent successivement du faisceau pour s'adapter aux patins P P P Q Q de la voie. Les 2 patins communs, portent chacun 2 fils reliés en croix aux 2 distributeurs voisins. Du distributeur au milieu du patin, la dérivation, malgré ses 2 inflexions, est constituée par un fil sans soudure de 9,29 mm^2 de section isolé avec 2 couches de caoutchouc vulcanisé et 2 rubans caoutchoutés.

Les 2 faisceaux de fils transversaux sont

logés dans deux canalisations E et E' (fig. 11) placées côte à côte dans une même tranchée creusée à 0,70 m du niveau du sol avant la pose du béton. Ces 2 canalisations sont formées, l'une de 2 et l'autre de 3 tubes en fonte de 100 mm de diamètre intérieur, réunis bout à bout par des joints recouverts de caoutchouc.

Ces 2 canalisations sont raccordées par une de leurs extrémités à la partie inférieure de la caisse en fonte contenant les deux distributeurs D et placée sous le trottoir AA, comme le montre la coupe traversale de la voie de la figure 11. Elles viennent se raccorder par leur autre extrémité aux canalisations longitudinales du distributeur placé sous les voies B. Les canalisations longitudinales du distributeur sont placées dans une tranchée creusée au milieu du béton. Elles sont raccordées aux canalisations transversales

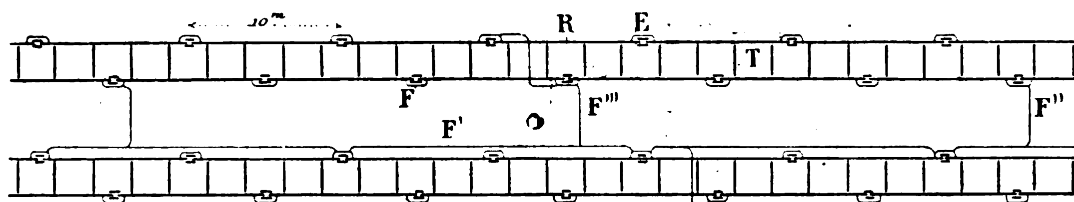


Fig. 15. — Schéma des connexions électriques de la voie de roulement.

par une tubulure recourbée en forme de T (fig. 12) dont la partie supérieure est fermée par un couvercle démontable à joint de caoutchouc permettant de visiter facilement et tirer au besoin tous les fils de branchement. Les canalisations longitudinales sont formées de tubes en fonte de 60 mm de diamètre intérieur raccordés par des manchons B (fig. 12) portant un couvercle supérieur démontable à joint de caoutchouc et une tubulure latérale fermée par un petit bouchon en caoutchouc au travers duquel passe le fil de branchement alimentant le patin P (fig. 10). En face des patins communs Q (fig. 10) qui reçoivent 2 fils de branchement le tube en fonte porte des tubulures spéciales munies de 2 ouvertures au lieu d'une.

Les fils de branchements DE, qui n'ont pas plus de 0,30 m de longueur, sont posés perpendiculairement aux rails dans une petite rigole creusée dans le béton et remplie ensuite de matière bitumeuse comme on le voit dans la coupe de la voie représentée sur la figure 13. Ils sont soudés au milieu des fils de jonction E en cuivre nu réunissant deux à deux les pavés métalliques.

Les pavés en fonte, représentés sur la figure 14, sont formés de deux semelles horizontales réunies par deux nervures verticales disposées en croix. La face supérieure du pavé est entourée d'un biseau de 5 mm de hauteur qui dépasse extérieurement le niveau du pavage ordinaire de façon à assurer un bon contact avec le frotteur de la voiture. Le fil de jonction DC est constitué par un fil de cuivre nu de 8 mm de diamètre, terminé à ses 2 extrémités par une bague D entrée à force dans une ouverture légèrement tronconique des pavés métalliques. Chaque pavé est recouvert sur toutes ses faces, sauf à la partie supérieure, d'un revêtement isolant en matière bitumineuse de 1 cm d'épaisseur, et prend ainsi l'aspect d'un bloc parallélipipédique indiqué en pointillé sur la figure 14. Les pavés métalliques, noyés dans le bloc isolant et réunis par deux au moyen du fil de connexion sont ensuite posés sur le béton, au milieu de la voie, dans une petite rigole que l'on remplit ensuite de matière bitumineuse. Puis on rattache les fils de branchements au milieu des fils de connexion des pavés par une soudure recouverte de ruban caoutchouté et de toile chattertonnée et enfin noyée dans le bitume.

La voie de roulement servant de conducteur de retour de courant il est nécessaire de réduire au minimum sa résistance électrique

en augmentant la conductibilité des éclisses par des joints métalliques spéciaux établis entre les rails. La figure 15 montre le schéma de l'ensemble de ces connexions électriques.

Les rails R sont réunis métalliquement bout à bout par des éclisses E et transversalement par des entretoises T. Chaque éclisse porte un joint électrique en fil de cuivre nu de 8 mm diamètre soit 50 mm² de section.

En outre un fil de cuivre F' ou fil de terre, de même section, qui suit sur toute sa longueur le rail intérieur de l'une des voies, est relié à la moitié des joints électriques de ce rail et à 1 sur 3 des joints du rail intérieur de l'autre voie par les fils F''. Ce fil de terre F' est relié au voisinage de l'usine au pôle négatif de la dynamo par 6 petits câbles, ainsi que nous l'avons vu tout à l'heure. Enfin à côté de chaque distributeur un fil F''' réunit en cascade les 4 rails des 2 voies et donne naissance à une dérivation qui se rend à l'extrémité des électroaimants de manœuvre du distributeur. Dans les parties en simple voie, où la densité de courant est plus forte, le joint d'éclisse électrique a une section double. Soit 100 mm², et les 2 rails portent chacun un fil de terre de 50 mm² de section.

La conductibilité de la voie de roulement est assurée presque exclusivement par les rails et les éclisses, tant mécaniques qu'électriques. Le fil de terre en cuivre nu de 50 mm² de section placé le long de la voie n'augmente la conductibilité générale que de 2 à 3 pour 100. Mais la conductibilité varie du simple au double environ suivant que la communication entre les rails se fait uniquement par l'éclissage électrique par suite de joints mécaniques absolument défectueux ou se fait à la fois par l'éclisse mécanique et l'éclissage électrique lorsque les joints mécaniques sont bons. La plus grande différence de potentiel qui puisse se produire entre 2 points de la voie est de 8 volts environ dans le premier cas et de 4 volts environ dans le second cas.

La figure 16 montre le joint de 2 rails voisins R. Le fil de cuivre qui complète la connexion électrique de l'éclisse E a 8 mm de diamètre et ses deux extrémités sont fixées sur la face latérale du rail R de la même manière que le fil de connexion des pavés, au

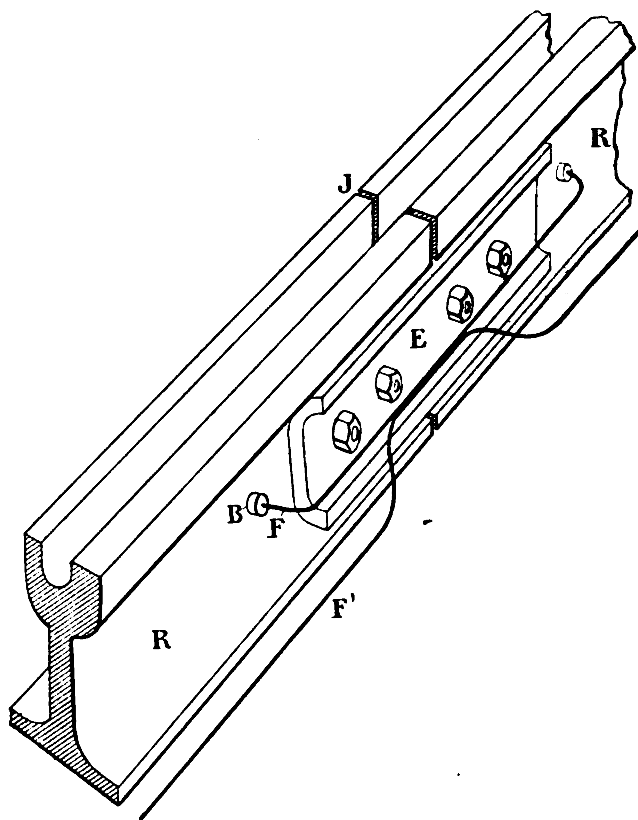


Fig. 16. — Joints de deux rails.

moyen d'une bague tronconique en cuivre B entrée à force dans une ouverture pratiquée dans le rail.

La voie et les pavés métalliques étant posés et la canalisation établie, il ne reste plus qu'à faire un pavage ordinaire, soit en bois, soit en pierre, sur le lit de béton. On termine l'opération en coulant un enduit bitumineux dans les interstices comprises entre les pavés métalliques et les pavés ordinaires.

(A suivre.) CH. JACQUIN.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Système d'alimentation mixte par courant alternatif et de courant continu, à Brighton (1).

On rencontre peu d'installations d'éclairage comme celui de Brighton, où les lampes sont alimentées par du courant continu pendant la plus grande portion de la journée et par du courant alternatif pendant les heures de pleine charge. L'idée, toute originale qu'elle soit, n'en a pas moins donné de très bons résultats relativement à la consommation de charbon de la station génératrice.

La plus grande partie de la ville est normalement éclairée avec le courant continu ; les districts extérieurs de Preston et Lewes-road le sont par le courant alternatif.

Les câbles à haute tension de ce dernier réseau sont reliés de distance en distance à des transformateurs dont les secondaires sont reliés au réseau de distribution à trois fils. Tous les câbles sont concentriques et isolés au papier. Deux câbles distributeurs à basse tension, partant chacun des deux sous-stations les plus proches du réseau, sont reliés à ce dernier. Cette disposition permet d'alimenter les lampes des districts extérieurs avec les courants continus du réseau de la ville ou inversement d'alimenter les lampes de la ville avec les courants alternatifs provenants directement des stations transformatrices.

Ce mode de distribution est en usage depuis près de deux ans et a permis de réaliser de notables économies sur la consommation du courant. Les lampes du réseau sont alimentées par le courant continu de 11 heures du soir au coucher du soleil le jour suivant, et par le courant alternatif pendant le reste des 24 heures.

Le réseau de distribution comprend un circuit à trois fils pour les conducteurs à haute tension et un réseau de conducteurs secondaires à quatre fils.

Les câbles sont supportés par des pylônes placés de distance en distance dans les rues ; les transformateurs sont logés dans la base de chacun d'eux et ramènent la tension de 2 000 volts dans les circuits primaires, à 115 volts dans les circuits secondaires.

Avec une disposition semblable il était important de pouvoir remplacer l'un ou l'autre des transformateurs rapidement et sans que cette opération puisse amener de confusion dans les connexions nouvelles. Afin d'éviter toute erreur de la part des employés chargés de la ligne tous les câbles sont numérotés ainsi que les parties auxquelles ils se rattachent. Un dispositif spécial permet aussi de supprimer l'un quelconque des transformateurs, soit en cas d'incendie, ou pour une autre cause, sans affecter le reste du réseau. Pendant le jour la quantité de courant utilisé étant considérablement moindre que pendant la nuit, on peut, pour restreindre les pertes dues à la transformation, supprimer un certain nombre de transformateurs et néanmoins alimenter les circuits secondaires avec le groupe de transformateurs réservé.

Le réseau secondaire à 4 fils possède un fil neutre et trois autres ; on peut donc par cette disposition avoir entre le fil neutre et l'un des trois autres fils, une tension de 115 volts pour l'éclairage et entre deux des trois fils une tension de 200 volts pouvant être utilisée par des moteurs. Il est très facile d'établir la balance entre trois des branches du système et en somme toutes les manipulations du réseau sont moins compliquées qu'avec un système à 3 fils.

La substitution de l'un à l'autre des deux courants s'opère au moyen de commutateurs combinés placés sur différentes sections concentrées des deux réseaux. La manœuvre de ces appareils est très simple ; aux heures de changement un employé muni de clefs ouvre et dégage la poignée du commutateur qu'il renverse soit à droite soit à gauche pour l'un

(1) *The Electrician*. Vol. XXXVII, n° 2, p. 37, 8 mai 1896.

ou l'autre des deux courants, l'employé ferme le commutateur à clef et passe ensuite à un autre appareil. Les lampes ne sont éteintes que pendant la durée du mouvement d'inversion, cette opération, du reste n'a lieu qu'à des heures ou les lampes sont le moins souvent allumées.

On compte environ 110 abonnés dont le nombre de lampes alimentées par ce double système dépasse 4 000. Les compteurs employés sont du type nouveau Thomson Houston. Ces appareils sont construits pour enregistrer le courant alternatif ou continu indifféremment.

La station à courant alternatif possède actuellement deux alternateurs du type E. C. C. à 70 périodes. Il est question d'en ajouter d'autres l'année prochaine pour répondre aux demandes nouvelles d'énergie électrique pour les éclairages privés.

L. D.

Installation d'un moteur à gaz pauvre pour l'éclairage électrique du Collège Stanislas, à Paris.

Les installations de moteurs à gaz pauvre pour actionner les dynamos sont encore peu nombreuses ; une application de ce genre vient d'être faite au collège Stanislas à Paris.

Les détails de l'installation que nous empruntons au *Génie civil* du 30 mai sont les suivants :

Après avoir marché pendant deux ans avec un moteur à gaz du système Lenoir, de 25 chevaux, à deux cylindres, la direction du collège Stanislas décida d'y adjoindre, à titre d'essai, un moteur à gaz pauvre, système Bénier, de la force égale de 25 chevaux. Ce nouveau moteur, installé dans le sous-sol, actionne une dynamo qui fournit l'éclairage aux différentes salles du collège, soit 1 000 lampes de 16 à 20 bougies et un grand nombre d'autres lampes de 5 à 10 bougies. On peut ajouter que la consommation a monté jusqu'à 250 ampères, chiffre maximum constaté.

L'installation complète du nouveau moteur comprend essentiellement : le moteur proprement dit, un gazogène et un laveur, sur la description desquels nous reviendrons plus loin.

L'installation électrique se compose d'une dynamo Sautter Harlé et Cie, du type N, faisant 850 tours à la minute, marchant à 110 volts et pouvant monter à 150, en agissant uniquement sur l'excitation pour la charge d'une série de 64 accumulateurs dont la capacité est de 560 ampères-heures utilisables. Chaque bac renferme 25 électrodes dont 12 positives constituées par des plaques de plomb doux de 9 mm, portant sur chacune d'elles des rainures ayant une profondeur de 3 mm dans les deux sens, horizontalement et verticalement.

Les rainures horizontales sont inclinées, celles verticales sont perpendiculaires par rapport à l'âme ; enfin elles sont distantes les unes des autres de 2 mm.

Après un certain laps de temps, la matière tend à se désagréger, le plomb du support devient actif et compense en partie la perte de matière. Chaque plaque ayant une âme de 3 mm et demi, a plus de rigidité et assure un usage prolongé de l'électrode.

On obtient l'isolement par du verre et de la porcelaine ; les électrodes sont suspendues à une profondeur de 7 cm, et il existe 6 cm entre le fond du bac et le bord inférieur des électrodes. Des tubes de verre de 15 mm de diamètre isolent les plaques entre elles. L'intensité normale du courant de décharge est de 80 ampères.

Nous avons dit que le système Bénier pour la production de la force motrice comportait simplement : un gazogène, un laveur et un moteur. Nous allons décrire sucessivement chacun de ces éléments.

Moteur. — Le moteur est du système à deux temps et aspire directement son gaz dans le gazogène sans interposition de gazomètre ni de scrubber. L'air et le gaz arrivent respectivement des pompes par des tuyaux dans la boîte à soupape d'introduction où ils viennent se mélanger par l'intermédiaire d'une bague en cuivre qui porte des orifices

pour le passage du gaz et de goujons servant à diviser l'air et faciliter le mélange. Dans les pompes fonctionne un piston double qui refoule le mélange dans le cylindre moteur dans lequel se meut un piston dont l'arbre imprime le mouvement de rotation à deux volants qui servent l'un de poulie motrice, l'autre à actionner le double piston.

Il existe encore deux organes de distribution : d'abord une soupape d'introduction du mélange, puis un tiroir de distribution pour l'air et le gaz dans les pompes, un régulateur qui commande un papillon sur le tube d'arrivée des gaz et un robinet pour graduer les rentrées d'air.

L'allumage se fait électriquement par bobine, comme pour beaucoup de moteurs à gaz : on se sert de la dynamo comme moteur et des accumulateurs comme source d'électricité.

Les dimensions du moteur sont les suivantes :

Hauteur totale	2,10 m
Diamètre du cylindre moteur	0,34 »
Course du piston	0,56 »
Diamètre de la pompe à air	0,44 »
» » à gaz	0,30 »
Course des pistons	0,24 »

Gazogène. — Le gazogène se compose d'une cuve métallique dans laquelle se trouve une seconde cuve de plus petit diamètre. Construit pour fonctionner au-dessous de la pression atmosphérique, il produit son gaz par le mélange de l'air et de la vapeur engendrée dans une grille rotative. Il diffère des gazogènes ordinaires en ce que cette grille est fixée au socle sur lequel on peut la faire tourner pendant la marche au moyen d'une clef ; elle sert également de vaporisateur pour engendrer la vapeur nécessaire à la fabrication du gaz. Cette vapeur est formée par la chaleur perdue de la grille et de la façon suivante :

Dans le bouchon en cuivre du socle sont fixés 3 tuyaux :

Le premier sert à l'arrivée de l'eau dans la partie cylindrique, le second sert pour l'évacuation de l'eau non vaporisée et le troisième sert à conduire la vapeur formée dans une boîte fixée sur la paroi extérieure du gazogène. Cette vapeur se détend ensuite dans un petit compartiment ménagé à la partie supérieure de la boîte et qui communique d'une part avec l'atmosphérique, et l'autre au compartiment d'arrivée de vapeur.

L'air et la vapeur se mélangent dans l'appareil ci-dessus d'écrit, et sont ensuite aspirés par la pompe du moteur qui refoule le mélange dans le gazogène, où, après avoir traversé plusieurs conduits et chambres, il vient traverser la couche de combustible pour former le gaz.

Laveur. — Le laveur se compose d'un cylindre en fonte fixé par des boulons sur le gazogène. Il est séparé en deux compartiments dans lesquels se trouvent une série de plaques à chicane qui lavent le gaz ; l'eau se renouvelle dans la partie inférieure, au moyen d'un réservoir toujours plein d'eau.

Les dimensions sont :

Hauteur du gazogène	1,50 m
» du laveur	1,50 m

En somme, l'emplacement occupé par tout l'ensemble est très restreint. Le moteur est sur ciment et meulière, reposant sur un matelas en briques de liège ; il fait 130 tours à la minute, et actionne directement la dynamo au moyen d'une poulie-volant de 2 mètres de diamètre.

L'air nécessaire au moteur est aspiré par la pompe dans une petite fosse située dans le voisinage, afin d'éviter le bruit de l'aspiration.

Les gaz de l'échappement se détendent dans deux récipients placés au pied du moteur et se rendent dans une fosse d'environ un mètre cube à laquelle aboutit aussi le tuyau du moteur à gaz ; ils montent toujours ensuite au-dessus du bâtiment. On amortit ainsi considérablement le bruit de l'échappement.

L'allumage du feu du gazogène et la mise en marche du moteur se font en une demi-heure.

Un grand avantage du moteur-gazogène qui

vient d'être d'écrit est qu'il n'y a pas de dangers d'intoxication, puisque le gaz est aspiré par le moteur et se trouve toujours à une pression inférieure à la pression atmosphérique. Toute fuite dans la tuyauterie, appauvrit simplement le mélange par suite de la rentrée de l'air.

Pour terminer, nous donnerons quelques chiffres intéressants concernant la dépense occasionnée par ce système d'installation :

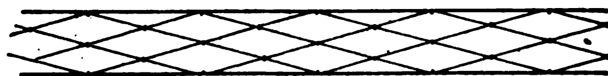
Le combustible que l'on emploie au collège Stanislas est de l'anthracite, très maigre et dure, la consommation est de 750 gr par cheval-heure ; comme la tonne d'anthracite revient à 50 fr environ, la dépense totale par heure pour le moteur de 25 chevaux est de 0,95 fr. Au dire des constructeurs, 700 gr suffiraient avec un charbon moins friable au feu que celui employé.

En résumé le moteur de 25 chevaux du système Bénier, installé au collège Stanislas, n'occupe qu'un espace de 3,88 m environ avec son gazogène ; il brûle par cheval-heure 0,037 fr d'anthracite et consomme 50 litres d'eau. Avec cette dépense, l'installation électrique peut alimenter toutes les lampes du collège en marchant à 100 ampères.

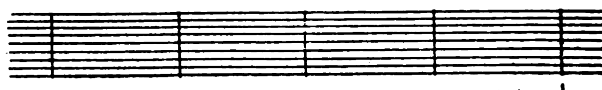
Conducteurs aériens pour tramways électriques, par de Ferranti.

M. de Ferranti pense que l'aspect disgracieux des conducteurs aériens pour tramways électriques pourrait être évité si l'on remplaçait le fil unique, relativement gros, employé actuellement, par plusieurs fils plus ténus, disposés à une distance suffisante les uns des autres pour ne pas être visibles quand ils sont placés à une certaine hauteur dans l'air. L'ensemble de ces fils aurait d'ailleurs une même section totale que le fil unique, afin que la conductibilité électrique et la résistance mécanique soient les mêmes.

Il propose donc d'employer des conducteurs sous forme de tulle (fig. 1) ou de réseaux parallèles (fig. 2) qui semblent d'une application bien difficile. Tous ces conducteurs sont réunis en des points assez rapprochés les uns des autres pour qu'en cas de rupture de l'un d'eux, le conducteur brisé ne puisse venir en







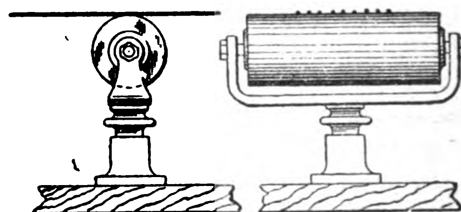


Fig. 1 à 5. — Conducteurs aériens pour tramways électriques, par de Ferranti.

contact avec le sol ou avec d'autres conducteurs.

La roue du trôlet serait remplacée par un rouleau frotteur de longueur appropriée (fig. 4 et 5).

G. P.

Coefficient de déformation des courbes de courants alternatifs, par J.-A. Fleming.

Dans la discussion d'un certain nombre de problèmes relatifs aux courants alternatifs, on a souvent à s'occuper de la relation existant entre la valeur moyenne (V_{moy}) des ordonnées d'une courbe périodique et la valeur dite efficace (V_{eff}) représentée par la racine carrée du carré moyen. Le professeur Fleming (¹) propose d'adopter la désignation de *coeffi-*

(¹) *The Electrician*, 10 janvier 1896.

cient de déformation f pour le rapport défini par :

$$f = \frac{V_{eff}}{V_{moy}}.$$

Ce coefficient a d'ailleurs été considéré déjà par divers auteurs. M. Roessller, entre autres, en a fait usage dans un travail très étendu dont nous donnerons prochainement une analyse.

Géométriquement on peut obtenir le coefficient en question par la construction suivante. on trace de part et d'autre d'une ligne horizontale la courbe considérée en coordonnées rectangulaires et en coordonnées polaires. A l'aide du planimètre on détermine les arcs de ces courbes, et on construit le rectangle équivalent à la courbe inférieure (fig. 1) et le demi-cercle équivalent à la courbe polaire. Le rapport du rayon OR de ce cercle à la hauteur BD du rectangle donne alors le coefficient cherché, piusque le rayon OR donne la valeur efficace et la hauteur BD la valeur moyenne des ordonnées.

Voici un tableau des coefficients de déformation de diverses courbes :

Courbe	Valeur moyenne rapportée à l'ordonnée maxima	Valeur efficace rapportée à l'ordonnée maxima	Coefficient de déformation
Sinus	0,637	0,707	1,1
Cercle	0,7854	0,835	1,063
Triangle	0,5	0,58	1,16
Rectangle	1,0	1,0	1,0
Ellipse	0,785	0,816	1,039
Parabole à axe vertical	0,666	0,730	1,096
Deux paraboles se coupant au sommet de la courbe	0,33	0,447	1,35

Le coefficient f est d'autant plus grand que la courbe est plus effilée à son sommet.

Il est maintenant admis que la perte dans le noyau d'un transformateur dépend du coefficient de déformation de la courbe de f. é. m. primaire, et qu'une augmentation de ce facteur entraîne une diminution de la perte par hystérésis, (Cette affirmation de l'auteur nous paraît trop générale ; elle souffre en effet, des exceptions nombreuses en théorie, mais peut-être moins fréquentes dans les cas pratiques.) On n'a pas encore démontré que des courbes de f. é. m. de formes différentes mais d'égal coefficient de déformation donnent la même perte par hystérésis, mais il est très probable qu'il doive en être ainsi (?). Dans

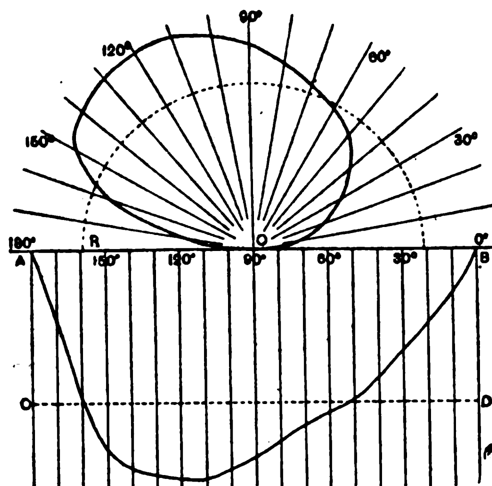


Fig. 1.

ces conditions, l'essai des transformateurs ne comporte de résultats exacts que s'il est fait avec un courant de coefficient de déformation donné. Pour un alternateur, ce facteur peut changer considérablement avec la valeur plus ou moins inductive de la charge.

A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

De la torsion magnétique des fils de fer doux, par G. Moreau (1).

J'ai l'honneur de présenter à l'Académie les premiers résultats d'une étude sur la torsion magnétique (t. m.) des fils de fer doux. Le phénomène, découvert par Wiedemann, a été étudié par Smith (2) qui a montré qu'un

(1) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1192 ; séance du 25 mai.

(2) *Phil. Mag.*, t. XXXII p. 383 1891 *La Lum. Elect.*, t. XLII, p. 137 ; 17 octobre 1891.

fil de fer tordu initialement se tordait davantage sous l'action magnétisante d'un solénoïde. La torsion magnétique est toujours de même sens que la torsion initiale du fil. Elle croît avec elle jusqu'à un maximum, pour décroître ensuite. Pour une torsion donnée, la torsion magnétique croît aussi avec le champ magnétisant et décroît ensuite.

» Mes premières expériences ont pour objet la comparaison de la torsion magnétique aux différents points d'un fil de fer tordu. Ce fil long (1,30 m) et mince (diamètre compris entre 0,5 mm et 1,8 mm) est placé dans l'axe d'une bobine de 30 cm de long, dont le champ au centre égale 70 unités C. G. S. pour 1 ampère. Il est fixé à une extrémité A et tendu à l'autre B par un poids. En B, il est saisi par une pince centrée sur un cercle à alidade qui doit servir à tordre le fil. La torsion magnétique en un point est mesurée par un petit miroir concave qui y est fixé et qu'on observe par la méthode de Poggendorff.

» Voici les lois expérimentales obtenues, lorsque la bobine occupe une position quelconque entre les deux extrémités du fil.

» I. Pour un fil de longueur L et pour un courant magnétisant constant, la torsion magnétique en un point est nulle, si le fil n'est pas tordu initialement. Si le fil a été tordu initialement, la torsion magnétique change de sens et croît proportionnellement avec la torsion initiale permanente, si celle-ci est inférieure à 360°. Au delà, la torsion magnétique croît plus lentement et tend vers une valeur limite qu'elle conserve pour des torsions initiales très grandes. Je n'ai pas observé le maximum indiqué par Smith.

» II. Avec des fils de fer de petit diamètre, la torsion magnétique est indépendante du diamètre, tant que la torsion initiale est inférieure à 360°. Au delà, la limite de la torsion magnétique obtenue pour des torsions initiales très grandes diminue quand le diamètre du fil croît.

» III. Pour une torsion initiale donnée, la torsion magnétique croît proportionnellement au carré de l'intensité du courant magnétisant.

» Cette loi n'est vérifiée que pour des courants faibles inférieurs à 0,3 amp. Pour un courant de 10 ampères, on arrive à une limite.

» Les lois suivantes se rapportent à la variation de la torsion magnétique le long d'un fil tordu.

» IV. Pour un fil tordu et placé suivant l'axe d'une bobine également distante des extrémités, les torsions magnétiques en deux points symétriques du centre de la bobine sont rigoureusement égales et de signe contraire. Du côté de l'extrémité A du fil, la torsion initiale est *augmentée*, de l'autre côté elle est *diminuée*. Le sens du phénomène ne change pas avec le sens du courant.

» V. Sur une des moitiés du fil, la torsion ou détorsion magnétique, nulle à l'extrémité du fil, augmente lorsqu'on se rapproche des bords de la bobine et passe par un maximum au voisinage de ces bords. Elle devient nulle dans la région où le champ est uniforme.

» VI. Lorsque la bobine n'occupe plus le milieu du fil, la symétrie précédente disparaît. Si la bobine a été déplacée de h centimètres du côté de l'extrémité A, on obtient la nouvelle courbe de torsion magnétique en déplaçant la courbe correspondante à la position médiane, dans sa propre direction, d'une quantité telle que la translation de chaque élément, comptée parallèlement au fil, égale h. La règle est la même si la bobine a été déplacée du côté de B.

» Il y aura toujours torsion du côté de A et détorsion du côté de B. Les maxima de torsion et de détorsion seront toujours à une distance constante des bords de la bobine.

» La somme algébrique des deux maxima restera la même, quelle que soit la position de la bobine le long du fil, tant que le déplacement h sera plus petit que $\frac{L}{2} - a$ (a distance d'un maximum au bord voisin). Si $h = \frac{L}{2} - a$, il n'y a plus qu'un maximum égal à la somme des deux autres et la torsion magnétique a le même signe pour tous les points du fil.

» L'explication la plus simple de ces phénomènes est, je crois, la suivante. Par suite de l'aimantation du fil, chacun de ces éléments est soumis, grâce à la variation du champ magnétisant le long de l'axe de la bobine, à une dilatation longitudinale dirigée vers le solénoïde et à une contraction transversale. Les deux effets s'ajoutent pour modifier la torsion primitive de l'élément.

» L'application de la loi de Coulomb conduit facilement à l'expression suivante pour la variation $\Delta\Theta_x$ de la torsion en un point situé à la distance x de l'extrémité fixe A du fil :

$$\Delta\Theta_x = K(1 + 2\pi K)\frac{4\sigma + 1}{E}\frac{\Theta_L}{L} I i^2,$$

où

K = susceptibilité magnétique du fer ; σ et E sont les coefficients d'élasticité ;

i = intensité du courant magnétisant : Θ_L torsion initiale du fil de longueur L ;

$I = \int_0^x (F_x^2 - F_A^2)\,dx$, F_x intensité du champ au point x.

» Cette formule donne immédiatement les lois I, II, III.

» L'étude de l'intégrale I donne les résultats IV, V, VI. L'application de la loi de Coulomb ne la donne exacte que pour les faibles torsions initiales Θ_L. »

Sur la réfraction des rayons X, par Gouy (¹).

« Pour des recherches précises sur la propagation des rayons X, il faut avant tout disposer d'une source qui soit *linéaire*, de largeur apparente insensible, et en même temps assez intense pour opérer à grande distance avec une durée de pose acceptable, ce qu'on ne peut faire en diaphragmant une source ordinaire par une fente très fine.

» J'ai réussi à surmonter cette difficulté par un emploi approprié des tubes du modèle dit *focus*, dans lesquels les rayons X prennent naissance à la surface d'une lame plane de platine. On constate que ces rayons possèdent une intensité presque égale, suivant toutes les directions comprisent dans l'hémisphère limité par le plan de la lame, et cessent presque brusquement quand la direction devient rasante. Cette loi, tout opposée à la loi photométrique du *cosinus*, nous apprend que la lame de platine, vue obliquement, constitue une source de rayons X dont l'éclat intrinsèque est sensiblement en raison inverse de sa largeur apparente, en sorte qu'on peut, en se plaçant presque dans le plan de la lame, réaliser une source linéaire de grande intensité.

» Cette remarque m'a amené à construire un tube focus dont la lame de platine, parfaitement plane, permet d'utiliser des rayons faisant avec son plan un angle fort petit, de 30′ par exemple ; on a ainsi une grande intensité avec une source dont la largeur apparente n'atteint pas 0,1 mm.

» J'en ai fait usage pour l'étude de la réfraction à travers le crown-glass et l'aluminium. Un fil de platine de 0,1 mm, recuit et fortement tendu, est placé parallèlement au plan de la lame. Un prisme de 60° est disposé tout près du fil, qui le dépasse de part et d'autre. On reçoit sur la plaque photographique l'ombre du fil, dont le milieu est formé par les rayons qui ont traversé le prisme. L'expérience consiste à mesurer l'écart ε de cette portion, par rapport à la ligne droite définie par les deux extrémités de l'image.

» La distance de la plaque à la source est 4,50 m, et le fil en occupe le milieu ; la durée de pose est de trois heures.

» L'ombre du fil forme une ligne blanche d'environ 0,2 mm de largeur, qui est d'une grande netteté à l'œil nu, sans cependant supporter un fort grossissement. Cette ligne a été examinée au moyen d'un appareil construit par MM. Brunner pour l'étude micrométrique des clichés (¹). Les mesures montrent que l'écart ε ne dépasse pas 20 microns, ce qui correspond à une déviation de 2″. Quant à la réalité de ces écarts très petits,

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1197 ; séance du 25 mai.

(¹) Modèle du passage de Vénus.

c'est une question qui ne peut être tranchée qu'en perfectionnant les expériences.

» Ainsi la réfraction des rayons X, si elle existe, est inférieure à deux secondes ; d'où il résulte (¹) que l'indice ne peut différer de l'unité de plus de $\frac{1}{200000}$.

» Ces expériences, avec d'autres dont je rendrai compte, mettent aussi en évidence l'absence totale de diffraction ; c'est grâce à cette propriété des rayons X que leur étude peut être effectuée avec une précision comparable à celle des mesures optiques. »

Photométrie du sulfure de zinc phosphorescent excité par les rayons cathodiques dans l'ampoule de Crookes, par Charles Henry et Gaston Seguy (²).

« On sait que les corps phosphorescents, lorsqu'ils sont excités par les rayons cathodiques dans l'ampoule de Crookes, émettent un éclat plus vif que lorsqu'ils sont saturés par la lumière du soleil ou par la lumière du magnésium.

» Des mesures précises, dans des conditions bien définies de pression, de cette hyperphosphorescence du sulfure de zinc preparé en agglomérés suivant la méthode de l'un de nous, nous ont conduits aux conclusions suivantes :

» 1° L'éclat du sulfure pour une pression déterminée décroît assez rapidement avec la durée des expériences ; il est tombé, par exemple, au bout d'une dizaine d'heures, pour la pression, optima avec notre ampoule de 19μ de mercure, de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{50,4}$ de bougie (on peut évaluer approximativement à $\frac{1}{33}$ de bougie, l'intensité du sulfure de zinc en poudre, saturé par la lumière du magnésium). Toutefois, une part notable dans cette déperdition doit être attribuée à la formation, sur la surface d'émission, de petits points noirs qui sont des particules métalliques projetées par la cathode et des particules de charbon provenant sans doute de la décomposition de l'oxyde de carbone emprisonné dans le sulfure pendant sa calcination en creuset brasqué. Pour éliminer la part de cet écran intercepteur, il suffit simplement de retourner le bloc de sulfure, c'est à dire d'exposer aux rayons cathodiques les surfaces jusqu'alors soustraites à leur flux. On constate alors que l'éclat de ces portions est de $\frac{1}{6,22}$ de bougie, c'est à dire que le sulfure a perdu seulement le tiers de son éclat maximum initial.

» 2° En deçà et au delà de cette pression de 19μ la plus favorable à l'hyperphosphorescence, les éclats de sulfure croissent et décroissent suivant des fonctions (exponentielles) de la pression, d'autant plus rapides que l'expérience a duré moins longtemps.

» 3° Quand on renverse le sens des décharges, c'est à dire quand on soustrait le sulfure aux rayons cathodiques, l'éclat décroît dans le rapport de 27 à 1.

» Nous nous sommes servis, comme ampoule, d'une lampe à incandescence, munie de deux électrodes en aluminium : la cathode, ayant la forme d'un disque plat, était placée en haut de l'ampoule ; l'anode, filiforme, était soudée latéralement ; l'énergie était fournie par quatre éléments au bichromate à une bobine donnant des étincelles de 6 cm de longueur (résistance de l'inducteur : 5687 ohms ; de l'induit : 0,138 ohm) ; nous avons mesuré le vide avec la jauge de Mac-Leod et les intensités avec le photomètre de M. Charles Henry. »

Action de l'acétylène sur le fer, le nickel et le cobalt réduits par l'hydrogène, par Henri Moissan et Ch. Moureux (¹).

Il résulte des recherches de ces savants que si l'on fait passer à froid un courant d'acétylène sur du fer, du nickel ou du colbalt pyro-

---

(¹) Une des faces du prisme de 60° est normale aux rayons.

(²) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1198; séance du 25 mai.

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1240-1244 ; séance du 1er juin.

phorique, c'est à dire obtenus par réduction des oxydes par l'hydrogène à température aussi basse que possible, il y a décomposition de l'acétylène, incandescence du métal et production de carbone, d'hydrogène et d'une faible quantité de carbures pyrogénés.

Cette réaction est due à un phénomène physique. Le fer, le nickel et le cobalt réduits sont extrêmement poreux ; ils absorbent énergiquement le gaz acétylène. Cette absorption dégage une certaine quantité de chaleur qui amène la polarisation et finalement la décomposition de l'acétylène. Dès lors, toute l'énergie qui était en réserve dans l'acétylène, composé endothermique, ainsi que l'a établi M. Berthelot, devient disponible ; l'ensemble de ces réactions produit l'incandescence, et le phénomène se continue en s'accentuant de plus en plus, jusqu'au moment où le carbone provenant de la décomposition de l'acétylène s'est accumulé dans le tube en assez grande quantité pour arrêter l'arrivée du gaz.

Si cette interprétation est exacte, tout corps poreux, tel que le platine, par exemple, doit fournir un résultat identique. C'est, en effet, ce que les auteurs ont pu constater en opérant sur du noir de platine, de la mousse de platine et de l'amiante platinée.

Cette action des corps poreux sur l'acétylène doit évidemment être prise en considération dans l'application de ce gaz à l'éclairage.

Sur la molybdénite et la préparation du molybdène, par M. Guichard (¹).

La molybdénite ou sulfure de molybdène MoS^2 est le minerai le plus répandu de molybdène, métal que l'on emploie en métallurgie, en particulier dans la fabrication de certains aciers.

Jusqu'ici ce minerai était considéré comme infusible et indécomposable par la chaleur ; en le chauffant dans un tube de charbon au four électrique de M. Moissan, M. Guichard a pu le fondre, le décomposer et en obtenir une fonte de molybdène très pure.

Avec un arc de 350 ampères et 60 volts, il y a dégagement de soufre et d'anhydride sulfureux et commencement de fusion. En opérant avec un arc de 900 à 950 ampères et 50 à 55 volts, il y a fusion au bout de deux minutes, la molybdénite conservant grossièrement la forme des morceaux ; en chauffant trois minutes, la décomposition est presque complète, mais le métal produit renferme encore du soufre ; si l'on maintient la chauffe pendant cinq minutes, le métal produit se sature de carbone et la totalité du soufre disparaît ; l'analyse de la fonte de molybdène obtenue dans ces dernières conditions a montré qu'elle était formée d'environ 91 parties de molybdène, 2 de fer et 7 de carbone dont 1 partie à l'état de graphite.

« Il est donc facile, dit M. Guichard, d'obtenir, par l'action de la chaleur de l'arc sur la molybdénite, une fonte de molybdène exempte de soufre. Cette préparation très simple pourra peut être présenter quelque intérêt pour la fabrication des aciers au molybdène et aussi pour l'emploi de ce métal dans le traitement du fer au convertisseur Bessemer. M. Moissan a montré que le molybdène aurait sur le manganèse l'avantage de donner un oxyde volatil et de ne pas modifier sensiblement les propriétés du fer. »

Sur l'action extérieure d'un ellipsoïde de révolution aimanté uniformément, par H. Nagaoka (¹).

Etant donné un ellipsoïde de révolution, on considère un plan méridien de cette surface. On suppose tracées dans ce plan une série d'ellipses homofocales de la méridienne et sur chacune d'elles on détermine, par le calcul, le point où l'action magnétique est maxima. Il y a quatre de ces points symétriques par rapport aux axes de l'ellipse : il suffit de considérer le quadrant de l'ellipse situé, par exemple, dans l'angle positif de

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1270-1272 ; séance du 1er juin.

(¹) *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 275.

l'axe de révolution oz et de l'autre ox. L'ensemble des points situés sur les diverses ellipses du réseau dessine une courbe, dont la position et la forme varient avec l'excentricité de l'ellipse méridienne de l'aimant. La figure représente l'allure de ces courbes pour différentes valeurs du rapport m de l'axe de révolution à l'autre axe. On a pris comme coordonnées $\frac{z}{c}$ et $\frac{x}{c}$, c étant le demi-axe de révolution.

La courbe ponctuée (I) représente le lieu des points d'action maxima situés sur la surface même des aimants ellipsoïdaux.

Les courbes (II) sont les courbes définies plus

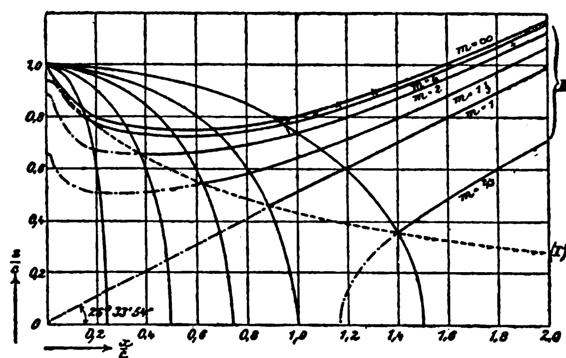


Fig. 1.

haut. A l'extérieur de la surface de l'aimant elles affectent la forme d'arcs d'hyperboles asymptotes à la droite $z = \pm\frac{x}{2}$, à laquelle elles se réduisent quand l'ellipsoïde allongé devient une sphère. Elles s'éloignent rapidement de cette asymptote quand m augmente à partir de 1 et se rapproche de la courbe correspondant à un cylindre indéfini ($m = \infty$). On voit que pour les valeurs de m un peu grandes, les diverses courbes sont très rapprochées et que pratiquement on peut les confondre avec la courbe correspondant à $m = \infty$.

Si on prolonge ces courbes à l'intérieur de la surface de l'aimant (où d'ailleurs elles perdent leur signification physique), on trouve qu'après avoir passé par un minimum ayant pour coordonnées :

$$x = 0{,}5151\,e \qquad z = 0{,}7364\,e,$$

e étant la demi distance focale, elles aboutissent normalement à l'axe des z, au foyer de l'ellipsoïde correspondant.

Pour les ellipsoïdes aplatis ($m < 1$) les courbes sont situées au-dessous de leur asymptote et aboutissent si on les prolonge à l'axe des x.

L'auteur a vérifié expérimentalement ces résultats théoriques, en faisant agir sur un magnétomètre un ellipsoïde de fer doux, placé dans l'intérieur d'une bobine magnétisante. Les valeurs calculées de $\frac{z}{c}$ et les valeurs observées concordent assez bien : les erreurs ne dépassent guère 1 pour 100.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Lehrbuch der magnetischen, and elektrischen Maaseinheiten, Messmethoden und Messapparate (Unités, méthodes des appareils de mesure des grandeurs magnétiques électriques), par L. GRUNMACH. *F. Encke*, éditeur, Stuttgart ; 1895.

Ce volume reproduit dans sa plus grande part le cours professé par l'auteur à l'Ecole Technique de Berlin. M. Grunmach s'est proposé d'écrire un livre qui ne fût ni un traité de physique pure, ni un simple manuel d'électrotechnique et malgré les nombreuses publications qui ont vu le jour depuis quelques années, son ouvrage prendra une bonne place. Il présente en effet l'avantage très appréciable de se suffire à lui-même ; et de renfermer à peu près tout ce qu'il est nécessaire de savoir pour arriver à faire des mesures de moyenne précision, (au moins ce qu'on peut apprendre dans un livre). Les trois premiers chapitres donnent la définition des unités fondamentales et des unités dérivées de la mécanique. Les autres se suivent sur un plan uniforme : pour chaque espèce de grandeurs, magnétiques, électrostatiques, électromagnétiques, les définitions d'abord et ensuite la description des méthodes et des appareils de mesure.

L'ensemble des chapitres relatifs aux défitions forme en somme un traité d'électricité résumé, car les principales lois et formules y

sont énoncées. Les calculs mathématiques sont exposés avec une louable sobriété et de nombreuses figures aident à la description des instruments.

Un chapitre supplémentaire traite de la photométrie. Ce sujet ne se rattache guère à l'électricité que par l'intermédiaire des usages pratiques, bien qu'il soit aussi intéressant au point de vue scientifique. Par contre, il me semble qu'une question, très importante dans la pratique, celle des mesures relatives aux courants alternatifs, qui sont de plus en plus employées, a été un peu négligée par l'auteur. Il se contente d'indiquer incidemment que l'électrodynamomètre peut servir à mesurer l'énergie moyenne d'un courant alternatif.

M. Grunmach paraît aussi s'être abstenu systèmatiquement de se prononcer sur la valeur des méthodes qu'il décrit : cette réserve est peut être exagérée. Sans doute, il est assez difficile de recommander d'une manière générale telle ou telle façon de procéder : cependant, puisque l'auteur s'adresse « à ceux qui veulent se familiariser avec des mesures un peu précises ». quelques indications de cette sorte n'auraient pas été déplacées.

Du reste, ces critiques de détail n'enlèvent rien à la valeur de l'ouvrage, qui est un des plus complets existant actuellement en ce genre. De nombreuses notes bibliographiques et plusieurs tableaux numériques seront utiles à consulter.

M. L.

Ouvrage reçu

Polarisation et optique cristalline. Leçons professées à la Sorbonne, en 1895, par H. Pellat, professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris, et rédigées par MM. Duperray et Gallotti, agrégés de l'Université. Un vol. gr. in-8, de 286 pages. — *Georges Carré*, éditeur, 1896.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Barcelone (Espagne).— Éclairage et traction.— Comme nous l'avons annoncé antérieurement (Voir *Éclairage Électrique* t. VII, p. 477, 6 juin 1896) le projet d'éclairage électrique est définitivement adopté et on procède actuellement à Barcelone à la transformation complète de l'éclairage public et privé ; l'éclairage au gaz sera sous peu remplacé par la lumière électrique. La Compagnie du gaz s'est engagée à pourvoir aux besoins d'installations et à aider la Compagnie concessionnaire qui est la Société Générale Catalane d'Électricité. L'équipement de la station centrale a été confié à la firme Schuckert et Cie et comprendra, cinq dynamos à courant continu, actionnées par des moteurs à vapeur, et une batterie d'accumulateurs ; deux autres dynamos de chacune 300 volts et pouvant être couplées en série, seront également installées en prévision de la substitution de la traction électrique à la traction animale pour les tramways de la ville.

Le réseau d'éclairage en cours d'installation est le système à trois fils. Conformément au projet ce réseau desservira toutes les lampes de la ville qui sont au nombre de 60 000 ; chacune de ces lampes consommera 54 watts avec une tension de 150 volts.

Les travaux sont activement poursuivis de part et d'autre dans le but d'amener une prompte réalisation de la transformation. Les frais généraux sont évalués à 7040 000 francs.

Kingston (Jamaïque). — Traction. — Le Gouvernement colonial de la Jamaïque vient de prendre une décision définitive pour la création d'un réseau de tramways électriques dans la ville de Kingston. En conséquence, un concours vient d'être ouvert aux adjudications des maisons ou compagnies qui désireraient entreprendre les travaux d'installation. Les conditions à remplir par les adjudicataires sont déposées ainsi que les plans de ville, au bureau de la Crown Agents for the Colonies, Downing street, London, S. W. où ils peuvent être consultés. Les soumissions, sous pli cacheté, devront être adressées au secrétaire du Privy Council de Kingston, avant le 31 juillet 1896.

Les tramways actuels de la ville sont à traction animale ; les lignes représentent ensemble une longueur totale d'environ 20 kilomètres.

Meckenbeuren-Tettnang (Allemagne). — Traction et transport de force. — Une importante station centrale vient d'être mise en exploitation à Tettnang.

Cette station comprend d'abord une usine hydraulique permettant d'utiliser les eaux du Schussen. La chute obtenue par le barrage construit sur

la rivière, près de Brochenzell n'étant pas suffisante (2,65 m) on a construit un canal en amont du cours d'eau qui, sans nuire au débit ordinaire de la chute, permet de réaliser le but que l'on s'était proposé. Ce canal a une longueur totale de 700 m et son débit est de 6 m^3 par seconde.

Les eaux de la chute et du canal actionnant séparément deux turbines Jonval, la première de 45 chevaux et la seconde de 75 chevaux. Toutes deux sont à arbre vertical et actionnent l'une, une dynamo multipolaire Œrlikon à courant continu d'une puissance de 40 kilowatts en moyenne à 60 kilowatts au maximum avec une tension de 700 volts, et l'autre, un alternateur Œrlikon de 40 kilowatts à 2 100 volts et son excitratrice. Le courant continu est spécialement affecté à la traction électrique des tramways, le courant alternatif lui, est employé sous différentes formes d'utilisation, telles que l'éclairage et le transport de force dans les pays environnants.

En raison de la baisse, parfois très considérable en été, des eaux de la rivière, on a construit une seconde station centrale comprenant une machine à vapeur de 60 chevaux qui peut actionner, soit ensemble ou séparément, deux génératrices de courant, identiques à celles de la station hydraulique. En outre, au moyen des connexions établies entre les génératrices de courant des deux stations, on peut, en les faisant fonctionner ensemble, coupler en parallèle chaque paire de génératrices de même courant.

Le tableau de distribution de cette dernière station reçoit les conducteurs du courant alternatif engendré par l'alternateur de la station hydraulique. Ce courant après transformation est ensuite réparti en différents points.

Le courant continu servant aux tramways est amené à la sous-station de Tettnang par câbles aériens. La distance entre le point de génération et celui d'utilisation est de 6 km.

La ligne reliant Tettnang à Meckenbeuren a une longueur totale de 4,5 km avec une rampe de 1/50 sur un parcours de 2,4 km; elle a été créée dans le but de prolonger deux lignes déjà en exploitation reliant Friedrichshafen-Ulm et Oberamstadt-Tettnang.

En comptant les nouvelles voitures construites pour la nouvelle ligne, le nombre total de ces voitures est de 26. Chacune d'elle est couplée à une voiture de remorque et a un fourgon muni lui aussi d'un moteur de 24 chevaux, lequel est mis en série avec celui de même puissance de la voiture motrice, de sorte que tous deux fonctionnent simultanément avec le même jeu d'appareils de commande. Le courant continu actionnant les moteurs des voitures parcourant la nouvelle ligne est distribué par un câble en fil de cuivre nu supporté par des pylônes placés le long de la voie, cette distribution ne s'étend que jusqu'à Meckenbeuren, les autres lignes étant déjà pourvues de distributions analogues.

Le courant alternatif engendré à 2 100 volts à la station hydraulique est, comme il a été dit antérieurement, amené au tableau de distribution de la station centrale à vapeur par câbles souterrains soigneusement isolés sous plomb et recouverts d'une enveloppe protectrice en fils de fer galvanisé. Du tableau de distribution le courant est dirigé à une sous-station contenant 9 transformateurs d'une capacité totale de 58 kilowatts.

La tension qui n'est plus que de 2 000 volts à l'arrivée aux transformateurs est ramenée à 110 volts pour l'utilisation. Outre l'éclairage public et particulier auquel ce courant sert dans le pays déjà cité, on espère voir sous peu toute la production utilisée par des moteurs, dont on compte déjà plusieurs affectés à différents travaux.

Metz.— Eclairage.— La ville de Metz possédait depuis 1884 une petite station pouvant alimenter au plus 21 lampes à arc qui servaient à l'éclairage d'une des rues principales de la ville. L'adjonction d'une seconde génératrice de courant avait été faite en 1894 dans le but d'alimenter 27 autres lampes à arc en remplacement des becs de gaz dans deux autres rues.

La Municipalité s'occupe actuellement de compléter la transformation de l'éclairage dans toute la ville. Déjà une Compagnie d'électricité s'est formée et a construit sur la Moselle une station hydraulique qui est destinée à fournir du courant pour l'éclairage du théatre. L'installation, une fois terminée, comprendra 3 dynamos à courant continu qui alimenteront 700 lampes à incandescence de 16 bougies et 16 lampes à arc. Une de ces dynamos fonctionnant tout le jour servira à charger une batterie d'accumulateurs installée dans les sous-sols du théâtre.

Munich (Bavière).— Force motrice et éclairage. — Il se passe rarement une semaine sans que nous ayons à citer de nouvelles applications mécaniques de l'électricité. Sans énumérer toutes celles d'une

importance secondaire, nous nous bornerons à citer seulement les plus intéressantes. Nous apprenons, que les moteurs à vapeur actionnant les nombreuses machines des ateliers de reliure de la firme R. Oldenbourg de Munich viennent d'être remplacés par des moteurs électriques.

La station génératrice toute entière est installée dans les sous-sols de l'établissement et comprend: deux chaudières à circulation système Alban, un moteurs à vapeur de 70 chevaux lequel actionne, par courroies de transmission, deux dynamos à courant continu produisant chacune 24 kilowatts sous une tension de 120 à 150 volts. Un tableau de distribution et une batterie d'accumulateurs Hagener de 62 éléments d'une capacité de 926 ampère-heures complètent l'installation.

L'éclairage total de l'établissement comprend 500 lampes à incandescence de 16 bougies et 30 lampes à arc de 8 ampères. La plus grande partie du courant utilisé par ces lampes est fournie par la batterie d'accumulateurs que l'on charge pendant les heures du jour où très peu de machines fonctionnent et auxquelles l'énergie produite par une seule dynamo suffit, tandis que l'autre charge la batterie.

Les moteurs électriques, construits par la firme Siemens et Halske de Berlin, sont au nombre de 30, d'une puissance variant de 0,5 chx à 5 chx et pouvant actionner 54 machines différentes affectées aux travaux de reliure.

Sébastopol (Russie). — *Éclairagie.* — La municipalité de Sébastopol a récemment adopté l'éclairage électrique pour la ville et a ouvert un concours d'adjudication des travaux d'installation.

La municipalité de Théodosie vient également de voter la mise en adjudication des travaux de distribution des eaux et de l'éclairage électrique. Une autre ville de Russie, Berdiansk se propose également de les imiter. Les industriels français que ces dernières entreprises intéresseraient peuvent s'adresser directement à M. Bonnet, agent consulaire de France à Bierdiansk.

Téhéran (Perse). — *Traction.* — Nous apprenons que les tramways électriques feront prochainement leur apparition en Perse. La première ligne, d'une longueur d'environ 15 kilomètres, reliera la ville de Téhéran à un plateau situé dans le nord de la ville et où habite une grande partie de la population pendant l'été.

Le système à trôlet est adopté pour actionner les moteurs des voitures. Le concessionnaire qui a obtenu le monopole de la ligne pour une durée de 9 années doit commencer les travaux immédiatement.

Vienne (Autriche-Hongrie). — *Force motrice.* — La statistique suivante suffira à démontrer les rapides progrès de l'application mécanique de l'électricité à des machines exécutant des travaux de tous genres.

L'*Elektrotechnische Zeitschrift,* auquel nous empruntons ces détails, rapporte qu'à Vienne le nombre des moteurs employés n'était que de 56 en 1892, de 138 en 1893, 298 en 1894 et à l'époque du dernier recensement, en 1895, de 490. Encore ce nombre s'est-il considérablement accrû pendant le cours de l'année 1896.

De ces 490 moteurs, 315 représentant une force totale 871 chevaux sont employés dans l'industrie pour actionner différentes machines; 25 autres machines d'une puissance totale de 261 chevaux sont employés dans les stations centrales pour les travaux d'entretien et de réparation du matériel; et enfin 150 moteurs affectés à des services divers dans des établissements privés, hôtels, banques, hôpitaux, etc.

On voit par ces chiffres que l'industrie à elle seule emploie plus des $\frac{3}{4}$ des moteurs en usage à Vienne. La puissance de ces moteurs varie de $\frac{1}{10}$ de cheval à 10 chevaux; ils sont employés dans les ateliers de reliure, d'ébénisterie, de tissage, dans les fabriques de papiers, les ateliers de couture, etc., etc.

Zug (Allemagne). — *Éclairage et force motrice.* — L'emploi des accumulateurs dans les stations centrale s'est comme nous l'avons déjà remarqué beaucoup généralisé en Allemagne.

La statistique des stations centrales en Allemagne (Voir *Écl. Élect.*) indique en effet, que la plus grande partie des stations de faible importance possédent une ou plusieurs batteries d'accumulateurs dont l'utilité a été plus d'une fois justifiée.

Une installation de ce genre vient d'être crée à Zug et est destinée à l'éclairage public et particulier. Cette station centrale produit du courant continu qui est utilisé aux heures d'éclairage pendant la nuit, et sert à charger pendant le jour deux grandes batteries d'accumulateurs. Ces batteries sont déchargées la nuit et le courant qu'el-

les fournissent s'ajoute à celui directement produit par la station, permettant ainsi de suffire aux heures de surchages sans employer de machines auxiliaires, complétement inutiles pendant le jour. La dépense pour l'installation des nouveaux établissements et réseaux s'est élevée à 273 397 fr.

On construit également une station hydraulique à Lorzentobel près Zug, qui utilisera les eaux du Stauwehr pour produire de l'énergie électrique qui sera employée sous diverses formes à Zug et dans les pays environnants. Cinq turbines de 120 chevaux sont déjà installées à la station ; on procède aussi en ce moment aux canalisations diverses du réseau de distribution.

DIVERS

L'électricité dans les fonderies. — L'électricité est devenu maintenant presque indispensable dans l'industrie métallurgique ; elle sert à la fois à extraire les mineraiset les transformer en outils qu'elle fera fonctionner elle même. Sans s'étendre sur les innombrables applications dont l'électricité a fait l'objet, nous nous bornons à citer seulement les nouvelles.

Nous lisons dans *Da praktische Maschinen constructeur* qu'une intéressante découverte vient d'être faite aux usines de fabrication d'acier Homestead de la Compagnie Carnegie de Pittsburg (États-Unis). Cette découverte est très importante au point de vue du travail du fer et de l'acier pendant la fusion.

Les difficultés que l'on avait éprouvées jusqu'alors pour la fabrication de l'acier suivant le procédé Bessemer paraissent être aujourd'hui entièrement écartées. Or, cette difficulté était de maintenir liquide le métal fondu jusqu'au moment de la coulée dans les formes. Le nouveau procédé consiste en un appareil très ingénieux au moyen duquel un courant électrique très puissant traverse la masse fondue et la maintient à l'état liquide et au même degré de température jusqu'à la fin de la coulée.

Les essais faits dans ce but, ont donné d'excellents résultats. On a laissé un peu refroidir la masse de métal en fusion, puis avant la coulée, cette masse a aussitôt été portée au rouge blanc par le passage du courant.

Dans une des expériences, la masse de métal projeta une lumière si intense que plusieurs ouvriers furent éblouis et durent recourir aux soins du médecin.

On procède actuellement à de nouvelles expériences pour déterminer la quantité de courant nécessaire pour obtenir l'effet désiré ; les expérimentateurs et les ouvriers qui y prennent part ont les yeux protégés contre l'incandescence dangereuse du métal.

Emploi du carbure de calcium dans les lampes à incandescence. — De nombreux essais, faits dans le but de remplacer le filament ordinaire des lampes à incandescence par une substance autre que le charbon ont amené, dit un journal américain, le docteur Bœhm, de New-York à substituer le carbure de calcium au charbon pour la confection des filaments. Ce corps, dit l'inventeur, tout en étant suffisamment conducteur, possède une résistance de beaucoup supérieure à celle du charbon.

Rappelons que récemment le carborindon avait été proposé dans le même but.

Le tour du monde en 40 jours. — A partir du 1er janvier 1900, date à laquelle sera achevé le grand railway Sibérien, on pourra, dit le *Génie* faire le tour de notre planète en 40 jours, et cela pour la modique somme de 1 850 à 2 000 francs.

En partant ce jour-là de Londres, on atteindrait via Ostende-Berlin, la capitale russe en quarante-cinq heures.

A Saint-Pétersbourg se trouvera prêt le train sibérien qui parcourera la ligne de dix mille kilomètres en 250 heures environ, et atteindra Port-Arthur douze jours et sept heures après que les voyageurs auront quitté Londres.

A Port-Arthur, on prendra le steamer extra-rapide que va construire une compagnie russo-américaine en voie de fondation. Ce paquebot ira à toute vapeur à San Francisco où il arrivera après sept jours de traversée. De là, le retour à Londres s'accomplira facilement, de façon que le bout du monde se sera effectué en quarante fois vingt-quatre heures.

Les moteurs de tramways à ammoniaque. — Il y a quelque temps, on procédait en Amérique à différents essais sur l'emploi de l'ammoniaque et de l'acide carbonique à la traction des tramways. Ce procédé a déjà été expérimenté en 1871 à la Nouvelle-Orléans, mais sans résultats pratiques. On nous signale que de nouveaux essais viennent d'être effectués à New-York avec un moteur à ammo-

niaque combiné par M. P. F. Mac Mahon, ancien ingénieur en chef de la marine des Etats-Unis.

Ce moteur ressemble sous beaucoup de rapports à un moteur à vapeur, il n'a cependant pas de foyer et la vapeur, ou plutôt le gaz, s'échappe après avoir travaillé sans vicier l'atmosphère. Le système est basé sur la propriété de l'ammoniaque anhydre d'entrer en ébullition à la pression atmosphérique et à la température de — 33°,6 centigrade ; en chauffant ce liquide à + 27° centigrades on obtient une pression de 10 atmosphères 1/2.

La vapeur d'ammoniaque est amenée aux cylindres dans lesquels elle agit comme la vapeur d'eau dans les locomotives ordinaires. La vapeur d'échappement est ramenée dans un réservoir à eau qui entoure le réservoir d'ammoniaque et se dissout dans l'eau qui peut absorber 1 700 fois son volume de vapeur ammoniacale et s'échauffe en même temps. La perte d'ammoniaque par les fuites n'est que de 10 pour 100 par an, ainsi qu'il résulte des cxpériences faites sur une voiture complètement chargée, par M. Georges Hopkins à Westminster (Londres), lequel fait autorité en matière de tramways ; les frais de distillation de la dissolution acqueuse ne s'élèveraient qu'à 0,19 fr par voiture-kilomètre.

Les appareils employés pour les voitures de tramways longues de 4,90 m chargés pour un parcours de 40 kilomètres ne pèsent pas plus, paraît-il, que les appareils électriques d'une voiture automotrice de mêmes dimensions. Il paraît démontré que, si l'on emploie des remorqueurs, on peut charger l'appareil pour un trajet de 80 kilomètres.

Les voyages d'essai à Chicago ont indiqué une consommation de 11 kg de charbon et 8 litres d'amoniaque par mille anglais de 1 610 mètres ; les frais de traction se sont élevés à 167 fr par kilomètre.

Il est bien évident que ces prix de revient changeraient avec l'application dans une autre contrée ; nous ne les donnons qu'à titre de renseignements et d'indications générales.

Les Tramways de Berlin. — En raison du nombre toujours croissant des lignes de tramways électriques que possède la ville de Berlin, il avait été question de créer un réseau de distribution qui alimenterait toutes les lignes déjà construites et celles dont la création serait nécessaire.

Ce projet, qui aurait pour but de remplacer les petits réseaux existants par un système de distribution unique est l'objet de sérieuses discussions, relativement au nombre des stations centrales à adopter pour l'alimentation générale du réseau en ce moment.

L'Elektrotechnische Zeitschrift du 14 mai dernier publie à ce sujet une note présentée et lue par le Docteur Kallman à la dernière réunion de la Société Electrotechnique de Berlin et dont nous extrayons les renseignements suivants :

Un coup d'œil sur la carte de Berlin montre que la disposition de la ville ne permettrait pas de réaliser, comme pour les villes de moindre étendue, une économie notable avec une seule station génératrice. Les difficultés qui s'opposent à ce projet consistent non seulement dans l'étendue de la ville (environ 10 km de l'est à l'ouest et 9 km du nord au sud) mais aussi dans la quantité énorme d'énergie qu'il faudrait produire pour alimenter les moteurs de tant de voitures motrices.

Il serait possible, cependant, de construire dans le centre de la ville, une station centrale qui pourrait suffire à l'alimentation de toutes les lignes du réseau avec des feeders de plus grande section que ceux existants et qui auraient une longueur d'environ 5 km seulement, mais il faudrait donner à l'usine génératrice des dimensions gigantesques pour la réalisation de ce projet.

Les lignes de tramways à traction animale encore existantes représentent un total de 33 millions de voitures-kilomètres par an. Si les voitures étaient mues par l'électricité, l'énergie nécessaire serait de 17 millions de kilowatt-heures ; il faudrait donc compter, pour la conversion de ces lignes, une production annuelle de 25 millions de kilowatts-heures, ce qui correspond à une puissance moyenne de la station de 4 000 kilowatts.

En comptant 60 pour 100 d'augmentation pour le service de nuit, la puissance totale s'élèverait à 6 500 kilowatts, soit, en tenant compte des machines de réserve, 12 000 chevaux.

La construction d'une seule station centrale dans le centre de la ville ne permettrait pas de réaliser l'alimentation générale avec la même sûreté de fonctionnement qu'on obtiendrait avec plusieurs stations disséminées dans différents points de la ville.

D'un autre côté, la création de plusieurs stations permettrait comme à Boston, par exemple, où le réseau est alimenté par 4 stations dont chacune sert à l'éclairage et est affectée à une portion

du réseau, d'étudier la position des stations centrales au double point de vue du développement de l'éclairage et de la traction électrique. D'ailleurs, à Berlin, la station située à Manerstrasse alimentant les trois lignes conduisant à l'Exposition se trouve déjà dans des conditions analogues aux stations de Boston.

En outre, à Hambourg où ce système est employé, les résultats obtenus ont permis de mettre le kilowatt-heure à 0,07 fr seulement et on s'attend encore à voir ce prix réduit sous peu. Or, l'avantage que l'on obtient en alimentant un réseau au moyen du courant produit par une station d'éclairage pourrait être pour Berlin ce qu'il est pour Hambourg, surtout qu'il ne serait pas nécessaire de construire la station génératrice dans la ville même. Le courant serait alors transmis à des sous-stations situées dans différents points de la ville et en admettant une perte de 15 pour 100 pour la tranformation, l'énergie fournie aux moteurs des tramways reviendrait à 0,06 fr de moins qu'à Hambourg.

Le Docteur Kallman ajoute en terminant que la conversion des lignes de tramways à traction animale en lignes à traction électrique, coûterait 29 375 000 fr, sans comprendre dans cette somme les frais de construction des stations et d'achat des câbles d'alimentation.

La production du caoutchouc au Brésil. — Les statistiques données par un de nos confrères d'Amérique sur la production de cette substance, montrent que l'augmentation considérable de l'emploi du caoutchouc va de pair avec les progrès de l'industrie électrique ; cette dernière utilise à elle seule environ 60 pour 100 de la production totale.

Le caoutchouc importé du Para représentait, pour l'année 1865, une valeur de 206 075 000 fr. La production s'est accrue depuis cette époque dans des proportions considérables; ainsi dans le courant de l'année 1895 le Brésil livrait à l'exportation pour 1 milliard 159 075 000 francs de caoutchouc employé dans les autres parties du monde. Les contrées européennes qui en consomment le plus sont l'Angleterre, la France et l'Allemagne.

L'électricité aux États-Unis. — De toutes les contrées où l'industrie électrique s'est la plus développée, les États-Unis paraissent tenir le record. L'*Electrical Review* du 29 mai 1896 nous apprend qu'on expédie annuellement dans les États de l'Union 65 millions de télégrammes et qu'on échange 750 millions de conversations téléphoniques. Le nombre des stations centrales fournissant du courant ne servant exclusivement qu'à l'éclairage s'élève à 2 700 ; on compte en outre 7 000 autres stations dont la production est utilisée sous diverses formes. Environ 20 millions de lampes à incandescence et 1 million de lampes à arc sont allumées tous les soirs. Le nombre des moteurs n'est pas exactement connu, mais peut s'évaluer à 500 000. Les lignes de tramways électriques à trôlet sont au nombre de 1 000 représentant une longueur totale de 19 308 kilomètres de voie parcourus par 25 000 voitures.

Les capitaux engagés dans cette industrie s'élèvent à 1 500 000 000 dollars et sont d'un rapport très fructueux.

Environ 2 500 000 personnes de la population des États-Unis sont employées et vivent de l'industrie électrique.

Le câble de l'Amazone. — On procède actuellement à la pose du câble devant relier Parà à Manaos. On se rappelle que nous avons déjà parlé du projet d'installation de ce câble dans notre numéro du 23 mai, t. VII, p. 382. Le steamer *Faraday*, affecté à cet usage, rencontre, d'après les journaux anglais et américains, de nombreuses difficultés à cause du peu de profondeur du fleuve en certains endroits et l'on a dû se servir d'un remorqueur de faible tirant d'eau et d'un chaland portant le câble pour opérer la pose de ce dernier près Parà.

Les branchements reliant différents Etats environnants au câble principal sont posés par le *Faraday* dans les affluents de l'Amazone quand son tirant d'eau le permet; dans certains cas, où ces rivières ne permettaient pas l'accès au vapeur en raison des profondeurs insuffisantes, le remorqueur et le chaland ne pouvaient non plus y pénétrer, à cause des *rapides* nombreux et puissants qu'il aurait été dangereux de chercher à franchir ; il fallait alors poser le câble sur la rive et l'entraîner dans le lit de la rivière par les deux extrémités.

Le *Faraday* est le premier vapeur qui remonte l'Amazone, aussi est-il l'objet de démonstrations d'amitié et de curiosité de la part des habitants des rives du fleuve. A Gurupa où le navire était récemment à l'ancre, les habitants avaient illuminé et pavoisé en l'honneur de l'équipage.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. Mauchaussat, 32 Boulevard de Vaugirard

Tome VII | Samedi 27 Juin 1896 | 3e Année. — N° 26

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LE TRAMWAY ÉLECTRIQUE
DE LA PLACE
DE LA RÉPUBLIQUE A ROMAINVILLE [1].

Il nous reste à examiner pour terminer la description du tramway, l'agencement des voitures et des postes de distributeurs.

Les postes, échelonnés tous les 95 m, contiennent, nous l'avons vu, un ou deux distributeurs suivant que la ligne est à simple ou à double voie.

Nous ne nous occuperons que du poste à 2 distributeurs. Le poste à 1 distributeur représente exactement la moitié du précédent ; la disposition des appareils est identique, mais le logement en fonte du distributeur mesure seulement 0,785 m de longueur au lieu de 1,36 m.

La figure 17 représente l'élévation et le plan d'un poste à 2 distributeurs. Les appareils sont renfermés dans une caisse ou fosse en fonte A de 1,360 m de long, 0,77 m de large et 0,89 m de haut, fermée par un couvercle, à nervures radiales a_1 a_2, percé comme les bouches d'égout de 2 ouvertures b_1 b_2 disposées en regard du centre des distributeurs. Ce couvercle vient juste à l'affleurement du bitume du trottoir. Les distributeurs reposent sur deux supports B_1 B_2 placés à 0,40 m de profondeur, au-dessous du sol, et à 0,43 m au-dessus du fond de la fosse ; à cette hauteur ils se trouvent suffisamment protégés contre l'eau qui peut s'accumuler au fond de la caisse.

Les supports des distributeurs se composent d'un cercle en fer horizontal *d* de 406 mm de diamètre, 30 mm de hauteur et 9 mm d'épaisseur, fixé sur 2 traverses parallèles en fer cintrées e_1 e_2 de même épaisseur, encastrées à 291 mm d'intervalle dans les parois longitudinales f_1 f_2 de la caisse, sur lesquelles sont fixées en ces endroits des cuvettes en fonte g_1 g_2, h_1 h_2. Les extrémités j_1 k_1, j_2 k_2 des traverses e_1 e_2 reposent dans ces cuvettes par l'intermédiaire de gros blocs l_1 l_2 m_1 m_2 de caoutchouc de $46 \times 46 \times 50$ mm, qui isolent le distributeur de la fosse.

Le distributeur repose simplement sur son support par 4 pattes horizontales en fonte, visibles sur la figure 18, appuyant sur la couronne en fer *d* et retenues dans la position voulue par une planchette horizontale *v* fixée sur le support.

Tous les câbles qui entrent dans les distributeurs ou en sortent sont disposés à la partie inférieure de la fosse, au-dessous des supports B_1 B_2. Le câble principal positif de distirbution traverse la caisse longitudinalement, en pénétrant par la tubulure C_1 et sortant par la tubulure C_2, de 80 mm de diamètre. Il est coupé au milieu de la caisse et ses extrémités D_1 D_2 sont dénudées et soudées dans deux armatures en laiton vissées elles-mêmes sur une pièce de raccord E en forme de

[1] Voir l'*Éclairage Électrique*, t. VII, p. 433 et 532, 6 et 20 juin 1896.

T. L'extrémité supérieure F de ce raccord en cuivre est fixée sur une pièce de contact verticale en laiton G montée sur la paroi longitudinale f_1 de la caisse avec interposition d'une plaque de porcelaine *n* et d'une grande planche en bois H. La pièce de contact G porte de chaque côté deux lames verticales, flexibles *p* en cuivre.

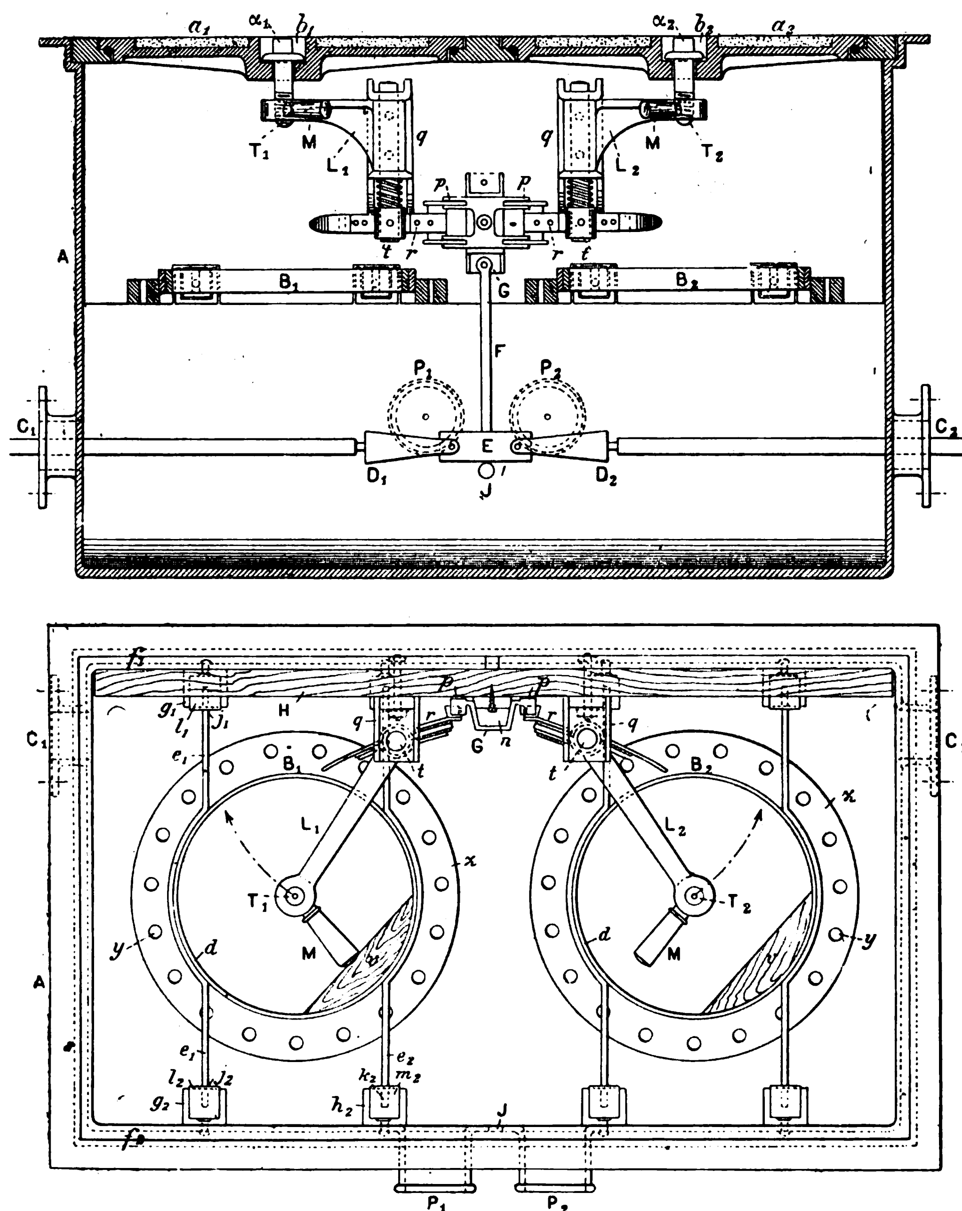


Fig. 17.— Elévation et plan d'un poste à deux distributeurs.

Le courant ne se rend pas directement de la prise de contact G aux 2 distributeurs ; il traverse auparavant deux commutateurs L_1, L_2 placés au-dessus des 2 distributeurs : ces commutateurs se composent d'une lame de cuivre *r*, solidaire d'un grand levier à manette M, et mobile autour d'un axe *t* portant un ressort de rappel énergique. La pièce *q*, fixée sur la planche en bois H, sert de pivot à l'axe *t* du commutateur et porte un coupe-

circuit. Le courant, après avoir traversé la lame *r* et l'axe *t* du commutateur, puis le contact et le coupe-circuit de la pièce *q*, se rend au distributeur par un fil souple en cuivre, isolé au caoutchouc, et terminé par une cheville en laiton que l'on introduit dans une douille montée sur l'arcade du distributeur.

Le fil négatif du distributeur, qui est isolé au caoutchouc et branché dans le voisinage sur l'un des fils de jonction des rails, pénètre dans la fosse par un petit trou J de 20 mm,

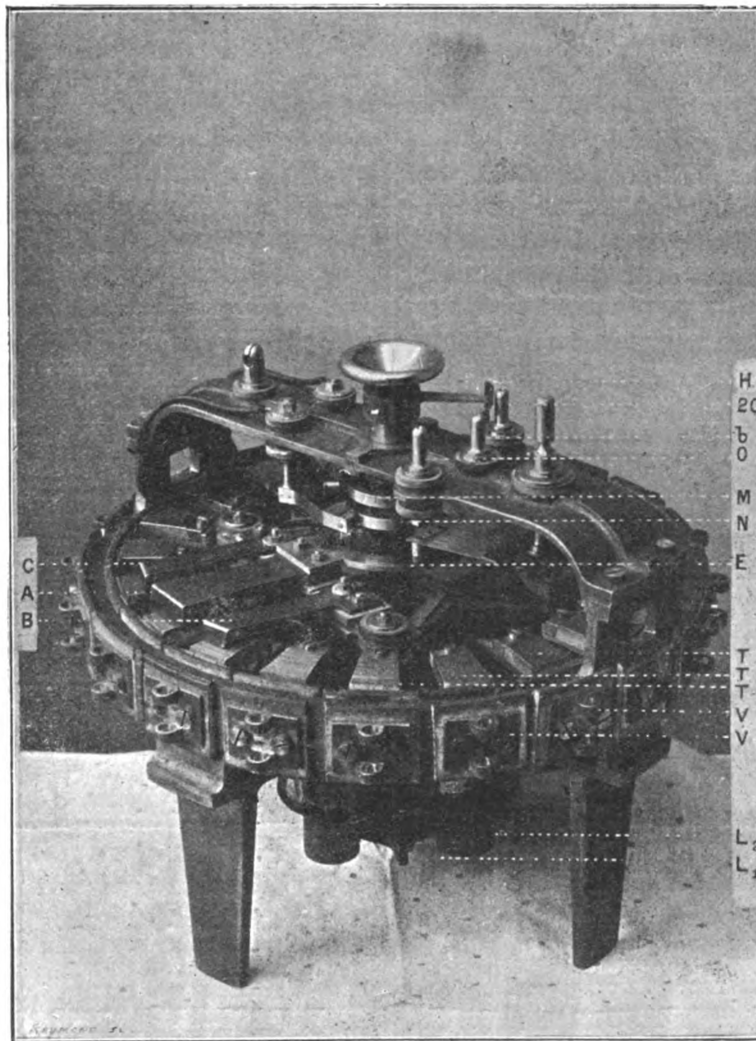


Fig. 18.— Distributeur, système Claret Vuilleumier.

percé dans la paroi longitudinale f_2, et se termine par une fiche en laiton que l'on introduit, comme celle du câble principal dans une seconde douille montée sur l'arcade du distributeur.

Les 21 fils de branchements qui partent de chaque distributeur pour se rendre aux patins de la voie sortent de la fosse par deux tubulures P_1 P_2 de 95 mm de diamètre, ménagées sur la paroi longitudinale f_2. Ces 21 fils, dont chacun est muni à son extrémité d'une cheville, traversent, par les trous *y*, une couronne en bois *z* fixée sur le support du distributeur et se trouvent ainsi disposés d'eux-mêmes en face des douilles correspondantes du distributeur dans lesquelles ils doivent être enfilés.

Le distributeur est formé, comme le montre la figure 18, par une couronne ou bâti en fonte de 0,40 m de diamètre portant 4 pattes horizontales en fonte destinées à placer l'appareil sur son support, et 4 pieds verticaux servant simplement à placer l'appareil au repos sur une surface quelconque. Sur le pourtour de cette couronne sont montées 21 plaques verticales isolées en laiton munies de douilles ou anneaux V. La couronne en fonte porte 19 touches horizontales isolées T en charbon et une arcade supérieure sur laquelle sont montées les pièces de contact en laiton *o*, *b*, 20 et 2 douilles, non marquées sur la figure, qui servent de bornes reliées l'une au câble principal et l'autre au pôle négatif de la voie. Les 2 frotteurs qui transmettent le courant de manœuvre des petites manettes extrêmes C et B aux pièces de contacts des électro-aimants L_1 L_2, ainsi que le frotteur qui transmet le courant principal de la borne d'arrivée à la manette intermédiaire A, sont également fixés sur l'arcade.

En outre, sur la partie inférieure du bâti sont fixés 4 électro-aimants L_1 et L_2 et 4 pièces de contact desservant ces 2 électros.

Les bobines des électro-aimants sont construites avec beaucoup de soin. Elles sont faites avec du fil de cuivre recouvert de soie enroulé sur une bobine en buis par couches séparées par du ruban de soie. L'enroulement achevé, la bobine est placée dans une boîte en zinc de forme annulaire sur laquelle on soude un couvercle ne laissant passer que les 2 extrémités des fils. On fait ensuite le vide dans la couronne de zinc et l'on y coule de la paraffine qui pénètre dans tous les interstices de l'enroulement. On achève la fermeture de la boîte par deux bagues en caoutchouc entrées à force sur l'extrémité des fils. On obtient ainsi un isolement parfait de la bobine, qui est logée dans une boîte entièrement close et peut être impunément plongée dans l'eau. Grâce à ces précautions, on n'aura pas à craindre des courts circuits dans le distributeur par suite de la présence inévitable d'eau dans les fosses en fonte.

Au centre du bâti se trouve l'axe vertical du distributeur, qui porte à sa partie supérieure une petite manette de contact H en laiton et à sa partie inférieure une armature en fer doux, peu visible sur la figure, qui se meut devant les électros L_1 et L_2. Sur le milieu de l'axe du distributeur sont fixées 3 manettes A, B, C, formées d'une série de lames de cuivre flexibles appuyant de champ sur les touches en charbon T T. L'axe porte aussi 2 cylindres M et N reliés aux 2 manettes extrêmes B et C et envoyant le courant aux électros de manœuvre.

La mise en place du distributeur se fait très facilement. Le distributeur reposant sur ses 4 pieds, on le saisit des deux mains en engageant des deux côtés de l'étrier 2 crochets qui restent constamment dans la fosse, puis on soulève le distributeur, on fait reposer par ses pattes horizontales sur la couronne du support et on le fait tourner jusqu'à ce qu'il vienne buter contre la planche d'arrêt *v* (fig. 17) du distributeur. Il ne reste plus alors qu'à établir les connexions électriques en enfonçant dans les douilles de l'arcade les 2 fiches du câble principal et du fil de terre et en enfonçant chacune des 21 fiches qui sortent de la couronne, en bois *t* (fig. 17) dans la douille de contact V (fig. 18) du distributeur qui lui fait vis-à-vis.

L'axe du distributeur est terminé à sa partie supérieure par un large bouton qui permet de faire tourner à la main, s'il est nécessaire, l'ensemble des manettes pour l'amener sur une touche quelconque.

La Ville a exigé un appareil de sûreté empêchant de manœuvrer ou d'enlever le distributeur tant qu'il est relié au pôle positif de la canalisation. Le commutateur $L_1 L_2$ (fig. 17) constitue cet appareil de sûreté, car lorsqu'il est enclanché sa manette M se trouve juste au dessus de la partie centrale du distributeur, rendant ainsi impossible toute manœuvre du distributeur. Si on veut découvrir le distributeur on est obligé d'écarter au préalable la manette M dans le sens de la flèche, c'est à dire de déclancher la lame de contact *r*, et, par

suite de couper la communication avec le câble principal de distribution. En temps ordinaire le commutateur est arrêté dans sa position d'enclanchement par un bouchon $\alpha_1 \alpha_2$, posé après fermeture de la fosse dans l'ouverture $b_1 b_2$ du couvercle et vissé sur la tête $T_1 T_2$ du levier $L_1 L_2$. Lorsqu'on veut ouvrir la fosse il faut, avant toute autre chose, dévisser le bouchon $\alpha_1 \alpha_2$, ce qui rend libre la manœuvre du commutateur $L_1 L_2$.

Les voitures du tramway de Romainville sont à impériale couverte, d'un type analogue à celui des autres voitures à traction mécanique circulant déjà dans Paris. Elles contiennent 26 places d'impériale, 20 places d'intérieur et 6 places de plateforme, soit en tout 52 places et pèsent à vide 9 100 kgs. Le châssis, qui mesure 5,65 m de long, supporte la caisse principale de 5 m de long ainsi que 2 plateformes de 1,60 m de long placées en porte-à-faux ; la longueur totale de la voiture entre tampons est de 8,85 m. La plateforme d'arrière est occupée par les voyageurs et le conducteur ; la plateforme d'avant comprend un espace ouvert réservé au mécanicien et un espace fermé à clairevoie devant former fourgon à bagages. Mais actuellement le fourgon à bagages n'est pas encore utilisé ; il sert à loger le distributeur de rechange et les rhéostats des moteurs formés de cages de 2 m de hauteur en lames de cuivre. La voiture porte 2 freins distincts : le frein électrique dont nous parlerons plus loin, qui est manœuvré par le mécanicien seul, et un frein à vis qui est généralement manœuvré par le mécanicien au moyen d'un volant placé sur la plateforme d'avant, mais qui

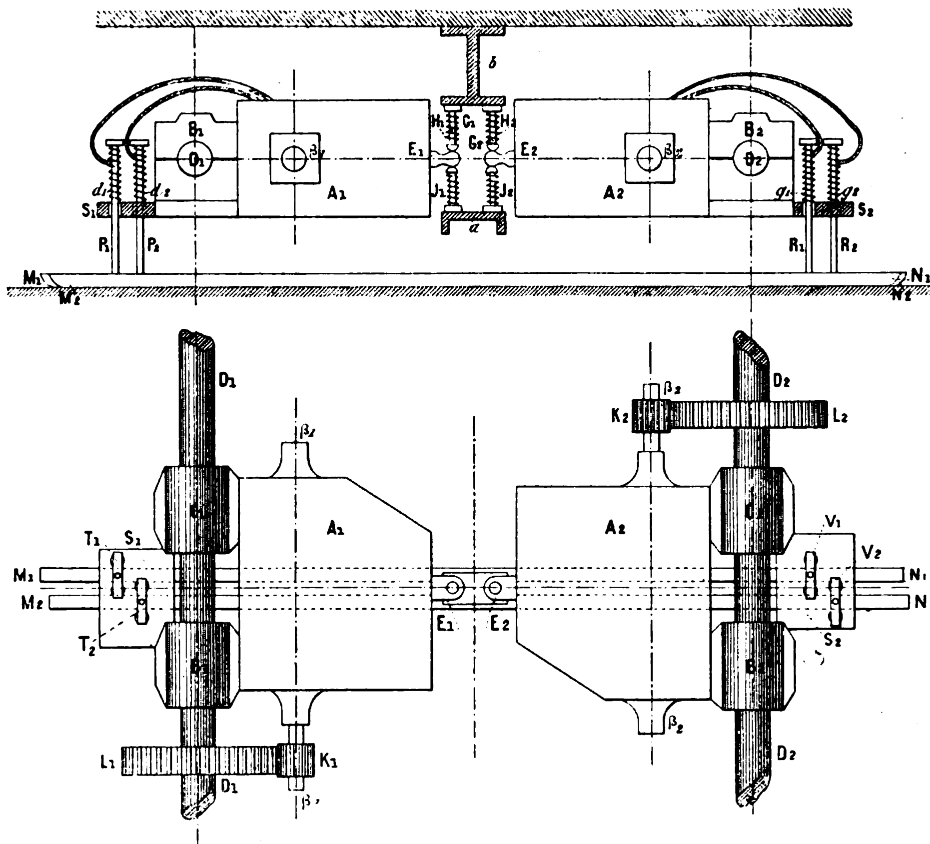


Fig. 19. — Disposition des moteurs et du frotteur sous le châssis.

peut être également serré en cas de danger par une manette placée sur la plateforme d'arrière à la disposition du conducteur. Le mécanicien a sous sa main une sablière dont il fait usage pendant les rampes. C'est lui qui manœuvre aussi le commutateur d'éclairage. La voiture porte 10 lampes à incandescence de 16 bougies, 105 volts, disposées en série en 2 circuits sur les fils de traction à 525 volts. On n'allume qu'un seul circuit, mais si une lampe vient à se rompre on met aussitôt le commutateur sur l'autre circuit de 5 lampes. L'intérieur de la voiture est éclairé par un groupe de 2 lampes placé dans un lustre au milieu de la voiture. Une lampe est placée dans la lanterne rouge d'avant, une autre dans le fanal d'avant et la dernière éclaire à la fois la lanterne verte d'arrière, la plaque « complet » et la plateforme d'arrière. Enfin la voiture porte à l'avant un chasse-pierres pour écarter les obstacles et une brosse pour nettoyer les pavés métalliques avant le passage des frotteurs.

Les deux essieux du véhicule sont commandés chacun par un moteur distinct. La figure 19 montre la manière dont ces appareils sont disposés sous le châssis. Les moteurs sont enfermés dans des caisses en fonte A_1 A_2 de 0,410 m de haut 0,725 m de long et 0,725 m delarge, reposant par les tourillons B_1 C_1 et B_2C_2 sur les essieux D_1 et D_2. Du côté opposé aux tourillons les caisses des moteurs portent des oreilles E_1 et E_2 pouvant coulisser dans les tiges G_1 et G_2 et maintenues en équilibre par les ressorts supérieurs H_1 et H_2, et les ressorts inférieurs J_1 et J_2. Les ressorts de suspension des 2 moteurs sont placés les uns à côté des autres et prennent point d'appui, en haut sur un fer *b* à double T et en bas sur une double cornière *a*, fixés tous deux sous le châssis de la voiture. Les axes β_1 et β_2 des moteurs sortent de leurs caisses A_1 A_2, l'un d'un côté, l'autre de l'autre, et se terminent par les pignons K_1 et K_2 qui engrènent les roues dentées L_1 et L_2 calées sur les essieux D_1 et D_2. Les engrenages en acier fondu taillé sont laissés à l'air libre sans aucun graissage et donnent une réduction de 1 : 5.

La figure 20 représente un moteur dans sa caisse. Cette caisse est évidée à la partie supérieure et porte un couvercle en tôle M que l'on peut soulever pour visiter les appareils. Les moteurs, construits par la maison Hillairet, sont d'un type très ramassé. Chaque moteur peut développer facilement une puissance mécanique de 30 chevaux. L'induit est un anneau L de 362 mm de diamètre et 350 mm de longueur, avec un collecteur N de 100 mm de large. L'excitation en série est fournie par une bobine unique G, de 225 mm de long, enroulée sur un noyau horizontal très court H. Les pièces polaires sont placées sur les côtés de l'anneau ; l'une F_1 est montée directement sur le noyau inducteur ; l'autre F_2 fait corps avec la paroi latérale de la caisse voisine de l'essieu ; le circuit magnétique réunissant les pièces polaires est constitué par la caisse en fonte elle-même.

Le frotteur qui prend le courant sur les pavés métalliques de la voie se compose de 2 cornières en fer M_1 M_2 N_1 N_2 (fig. 19) de 3,30 m de longueur, placées à 3 cm de distance, et mesurant 40 mm de largeur, 60 mm de hauteur et 7 mm d'épaisseur. Ces cornières appuient de champ sur la voie et sont susceptibles d'un jeu vertical de 8 cm, de façon à ce que leur extrémité puisse aborder et quitter facilement le biseau des pavés métalliques. Elles sont suspendues à leurs deux extrémités, par des tiges verticales P_1 R_1 P_2 R_2 traversant librement, au travers d'une forte bague isolante en caoutchouc les plaques S_1 S_2, à des barres horizontales T_1V_1 T_2V_2. Chaque barre T_1V_1 T_2V_2 est attachée à 2 forts ressorts en spirale $d_1 g_1$ $d_2 g_2$ prenant point d'appui sur les plaques S_1 S_2 fixées sous les caisses A_1 A_2 des moteurs. C'est sur les tiges verticales P_1R_1 P_2R_2 que sont soudés les câbles *z* isolés au caoutchouc qui se rendent aux moteurs.

A l'avant et à l'arrière du véhicule le châssis porte un frotteur de sûreté de 1,40 m de long, formé d'une cornière de 80 mm × 80 mm et 10 mm d'épaisseur, appuyant de champ sur la voie. Ce frotteur qui est suspendu directement au châssis en son milieu

par 2 ressorts à boudin, isolés par des bagues en caoutchouc, peut être relevé au dessus de la voie au moyen d'un levier fixé sur le côté du châssis, levier que l'on manœuvre pendant que la voiture est en virage sur une plaque tournante.

Nous avons décrit précédemment (¹) un dis-

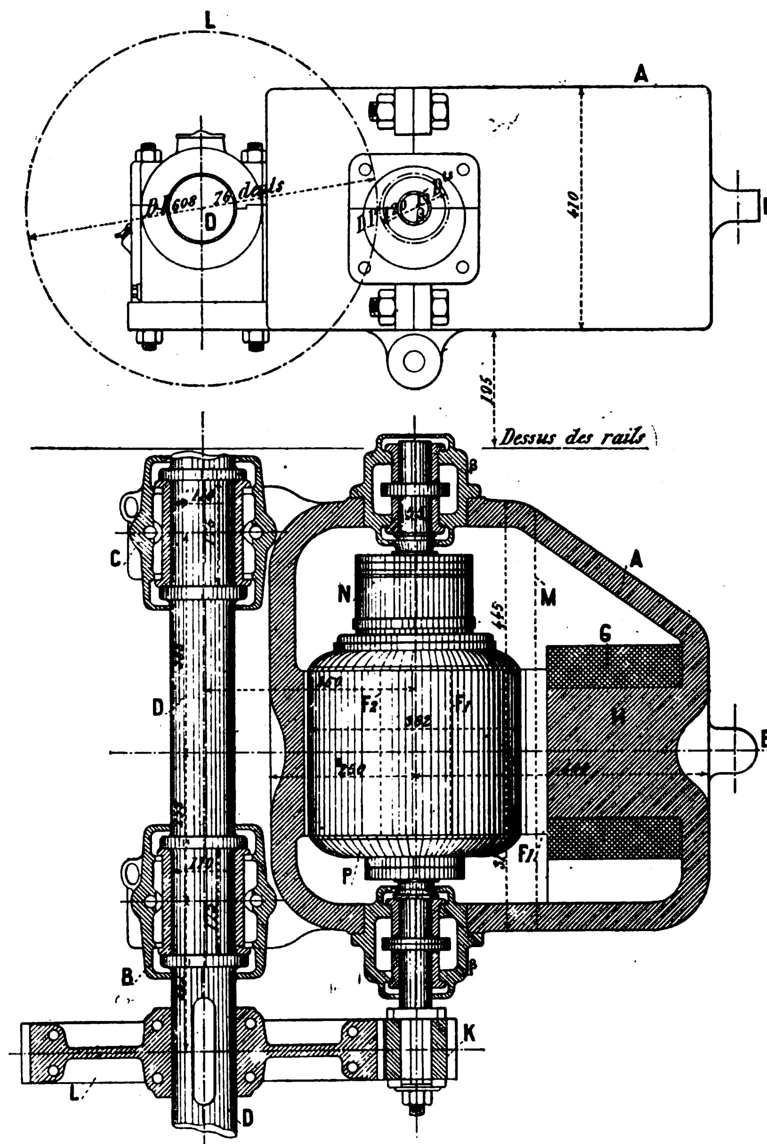


Fig. 20— Elévation et plan d'un des moteurs.

positif de sûreté dans lequel les frotteurs de sûreté reliés à la terre faisaient sauter immédiatement un coupe-circuit fusible en cas d'arrêt du distributeur. Ce dispositif, qui avait l'avantage d'être simple et d'un fonctionnement certain, a bien été monté sur les premières voitures équipées. Mais au cours du montage il a été abandonné, parce qu'il conduisait à un intervalle de 8,30m, beaucoup trop grand, entre les frotteurs de sûreté qui se seraient trouvés placés ainsi tout à fait aux extrémités du véhicule.

(¹) Voyez *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 441, 6 juin 1896.

On a adopté finalement pour toutes les voitures un autre dispositif un peu plus compliqué, mais qui permet de placer les frotteurs de sûreté à une faible distance du frotteur principal. La figure 21 fait voir le schéma de ce dispositif. Le galet g', qui se trouve à une distance du frotteur f' inférieure à la longueur d'un patin, est isolé du châssis et relié au contact K placé sur la voiture. Celle-ci porte également un électroaimant S muni d'une armature b, rappelé par un ressort Z. L'électroaimant S, qui est très résistant, est relié d'une part aux frotteurs et d'autre part au châssis de la voiture, qui est également réuni à l'armature $a\,b$. Lorsque le distributeur fonctionne régulièrement, l'électro S se trouve constamment en dérivation entre les 2 pôles de la dynamo, et l'armature $a\,b$ étant attirée (position marquée en pointillé) le contact K est ouvert et le galet reste complétement isolé. Si à un moment donné le distributeur s'arrête, en t_1 A_1 par exemple, le courant n'arrivant pas en A_1, l'électro S qui ne reçoit plus de courant, laisse tomber l'armature $a\,b$ qui vient de toucher le contact R. Le câble de distribution X et la voie de roulement P sont alors réunis en court circuit par le galet g' et la touche t_1 et le plomb fusible b saute aussitôt.

Sur la gauche de la plateforme d'avant de la voiture se trouve le commutateur de marche, qui a la forme d'une caisse de 1 m de haut et 0,40 × 0,40, surmontée d'un volant à main. Ce volant est muni d'une aiguille se déplaçant sur un cadran portant les indications des diverses positions de marche. Partant du point arrêt, on tourne d'abord l'index dans le sens inverse des aiguilles d'une montre sur le secteur de petite vitesse, dans lequel les 2 moteurs sont couplés en série, et l'on diminue progressivement la résistance introduite dans le circuit à mesure que l'on avance de la position 1 à la position 6 du secteur. Si l'on veut augmenter la vitesse, il faut coupler les moteurs en quantité. A cet effet, on tourne d'abord très rapidement l'aiguille sur un secteur intermédiaire, dans lequel les moteurs sont mis en court circuit, puis on aborde le secteur de grande vitesse où les moteurs sont réunis en parallèle avec des résistances décroissantes à mesure que l'on passe des positions 1 à 6. En continuant à marcher en sens inverse des aiguilles d'une montre, on trouve à la suite du secteur grande vitesse un secteur marqué frein, qui porte également 6 divisions correspondant à 6 résistances différentes ; mais il est impossible de passer du secteur grande vitesse au secteur frein : on ne peut aborder le secteur frein que dans le sens des aiguilles d'une montre, après être revenu en arrière jusqu'au point arrêt. Le secteur frein correspond au freinage électrique des moteurs, obtenu en les faisant travailler comme génératrices sur des résistances progressivement décroissantes.

Le mécanicien n'emploie le frein à vis que très rarement ; il fait presque toujours usage du frein électrique seul qui a une action très énergique quoique très progressive. Nous avons vu, en effet, obtenir ainsi en quelques mètres l'arrêt complet de la voiture, à la montée et à la descente, au milieu de la rampe de 46 mm du Père-Lachaise.

Les différentes combinaisons du commutateur de marche sont réalisées par la rotation d'un tambour creux en cuivre, portant des bandes de cuivre échancrées de longueur variable sur lesquelles appuient une série de balais reliés aux diverses parties de l'appareil.

Le coffre métallique fermé renfermant le commutateur de marche porte de plus, sur le côté gauche, 3 encoches verticales dans lesquelles des poignées verticales peuvent occuper deux positions différentes. Lorsque les 2 premières poignées sont abaissées, les moteurs sont en circuit. Pour isoler l'un ou l'autre des moteurs, il suffit de relever la poignée correspondante. Cette manœuvre a pour effet d'arrêter le volant à la dernière position de petite vitesse et de l'empêcher de passer sur le secteur grande vitesse où les moteurs sont mis en court circuit avant d'être couplés en parallèle. En relevant la troisième manette, on obtient la marche arrière du vé-

hicule par l'inversion du courant dans les inducteurs.

La figure 22 donne le profil en long de l'ensemble de la ligne. De la place de la République à Romainville, la ligne à double voie a un parcours de 4016 m dans Paris, dans lequel il n'existe aucun palier et où l'on trouve seulement 366 m de descente. De la rue de Malte à la rue des Tourelles, le trajet se fait constamment en rampes très fortes dont la plus douce a 10 mm par mètre et qui atteint au Père-Lachaise 45,9 mm par mètre sur une longueur de 471 m. De la barrière

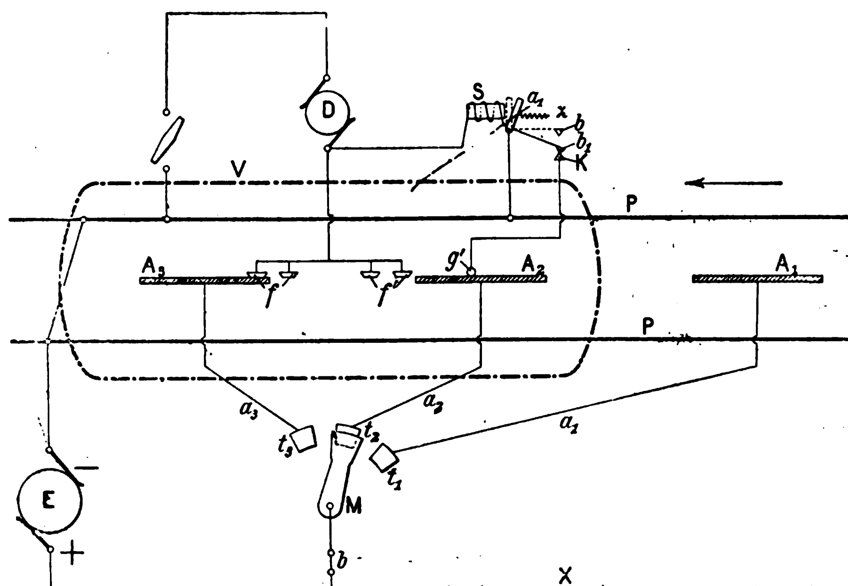


Fig. 21.— Schéma du dispositif de sûreté.

jusqu'à la station terminus de Romainville, la ligne, qui est à simple voie, a une longueur de 2930 m et présente 8 garages espacés d'environ 375 m. La longueur totale de la ligne, de la place de la République au terminus de Romainville est de 6946 m, soit près de 7 km.

La partie de la ligne située en dehors Paris est beaucoup moins accidentée que la première ; on n'y rencontre que de petites rampes de 5 à 15 mm par mètre.

Les voies parcourues par le tramway n'étant pas très encombrées, pour l'instant du moins, on agit sur les moteurs de façon à obtenir une vitesse pratiquement uniforme et voisine de 12 km à l'heure, même à la montée. Nous avons vu faire le trajet de la place de la République à l'usine soit 4700 mètres de rampes presque ininterrompues avec une voiture chargée au complet, en 21 minutes, ce qui donne une vitesse moyenne de 13 km à l'heure. En marche ordinaire, en comptant les arrêts réglementaires disposés de distance en distance le long de la voie, il faut environ 25 minutes pour aller de la place de la République à la porte de Romainville.

La vitesse étant maintenue constante, la puissance absorbée par les moteurs varie naturellement beaucoup suivant le profil. Du côté des Lilas et de Romainville, sur les parties en palier ou en rampes très douces, la voiture ne consomme que 10 à 15 ampères, soit à la tension de 525 volts, 5,25 à 7,87 kilowatts. Sur les rampes de 20 à 30 mm de l'avenue de la République et de l'avenue Gambetta l'ampèremètre marque 30 à 40 ampères, soit une puissance de 15,75 à 21 kilowatts. Enfin, à la montée du Père-Lachaise, l'ampèremètre atteint 60 à 65 ampères, soit une puissance de 31,5 à 34,12 kilowatts. La ligne formant une rampe continue de la place de la République à la porte de Romainville, les voitures qui font ce trajet absorbent une puissance consi-

dérable, mais en revanche les voitures, généralement en nombre égal, qui descendent de Romainville ne consomment rien sur tout le parcours de l'avenue Gambetta et de l'avenue de la République, car à la descente aucun courant n'est envoyé dans les moteurs. On obtient donc à la descente, sinon une récupération, du moins une compensation de l'énergie dépensée à la montée.

On a observé pratiquement qu'à l'usine une dynamo de 150 kilowatts suffisait pour desservir un nombre total de voitures montantes et descendantes égal à 10; chaque voiture prend donc en moyenne environ 15 kw. Lorsqu'il y a en même temps sur la ligne plus de 10 voitures, on met en marche la seconde dynamo.

La chute de potentiel sur la ligne est très variable, car elle dépend de la position des diverses voitures ; la plus forte valeur qu'elle puisse atteindre est de 20 volts, mais généralement elle est de beaucoup inférieure à ce maximum. Les variations de la différence de potentiel se font à peine sentir sur l'intensité lumineuse des lampes à incandescence qui sont reliées les 5 en série. L'éclairage de la voiture est très beau et se maintient bien fixe. Par contre, la marche du véhicule produit un bruit cadencé peu agréable, dû au ressau qu'éprouve le frotteur lorsqu'il aborde ou quitte un pavé métallique.

La Compagnie possède actuellement 15 voitures automobiles et en a 5 autres en construction. Un certain nombre de voitures non motrices seront mises en service bientôt et remorquées par les voitures automobiles. Le service est organisé de façon à ce que des départs aient lieu régulièrement dans les 2 sens toutes les 15 minutes. On faite ensuite un certain nombre de départs intermédiaires dans les moments où l'affluence des voyageurs augmente. On sera probablement conduit un peu plus tard à faire des départs réguliers toutes les 5 minutes. Le prix des places est dans Paris de 0,20 fr à l'intérieur et 0,10 à l'impériale, et hors Paris de 0,10 fr à l'intérieur et 0,05 à l'impériale pour chacune des sections des Lilas et de Romainville.

Toutes les dispositions sont prises pour que les incidents qui peuvent survenir en marche ne produisent qu'un arrêt très court des voitures. Diverses causes peuvent provoquer l'arrêt des véhicules, mais l'effet produit est toujours le même : le courant n'arrive plus aux moteurs parce que la manette du distributeur est en retard de plusieurs touches sur le frotteur de la voiture ; de plus, dans la plupart des cas, le coupe-circuit du distributeur se trouve fondu.

Quelque soit la cause de l'incident, le mécanicien, lorsqu'il constate que sa voiture ne marche plus, doit avertir par sonnerie électrique le conducteur qui prend sur la voiture un plomb fusible de réserve et se rend aussitôt au poste de distributeur le plus voisin. Le mécanicien isole, sur la voiture, les moteurs, et met le pôle positif de la pile et la sonnerie en relation par un petit commutateur spécial avec le frotteur, le pôle négatif de la pile étant à la terre. Le conducteur, de son côté, ouvre la fosse du distributeur, après avoir dévissé le bouchon du commutateur, et tourne le commutateur pour couper la communication du distributeur avec le câble principal ; remet, s'il est nécessaire, un plomb fusible sur le coupe-circuit, puis, au moyen d'un petit commutateur spécial, met le fil principal du distributeur à la terre au travers d'une petite sonnerie logée dans la fosse. Le conducteur saisit alors le bouton supérieur de l'axe du distributeur et fait tourner à la main les manettes jusqu'à ce qu'il entende la sonnerie de la fosse. A ce moment, le mécanicien resté sur la voiture entend également tinter sa sonnette: ce tintement des 2 sonneries indique que le circuit local de la pile est fermé sur le fil principal du distributeur, en passant par le patin sur lequel se trouve le frotteur de la voiture et par la touche du distributeur sur laquelle se trouve la manette de distribution. Cette manette se trouvant alors dans la position correspondante au patin de la voiture, le conduc-

teur rétablit le courant sur la ligne en coupant le circuit local de la sonnerie et replaçant le commutateur dans sa position d'enclanchement.

Le retard dans la marche du distributeur est causé le plus souvent par un défaut de contact du frotteur avec la voie sectionnée. A Lyon, où la prise de courant se faisait au moyen de deux petits sabots appuyant sur des bandes de fer de 4 m de longueur, on était arrivé facilement à assurer un bon contact des frotteurs. Mais, à Paris, les bandes de fer posées à fleur de sol n'ayant pas été autorisées, l'expérience acquise à Lyon n'a pu être utilisée et il a fallu faire toute une série d'essais nouveaux pour trouver des frotteurs fonctionnant bien, car il était beaucoup plus difficile d'obtenir un bon contact avec des lames de fer

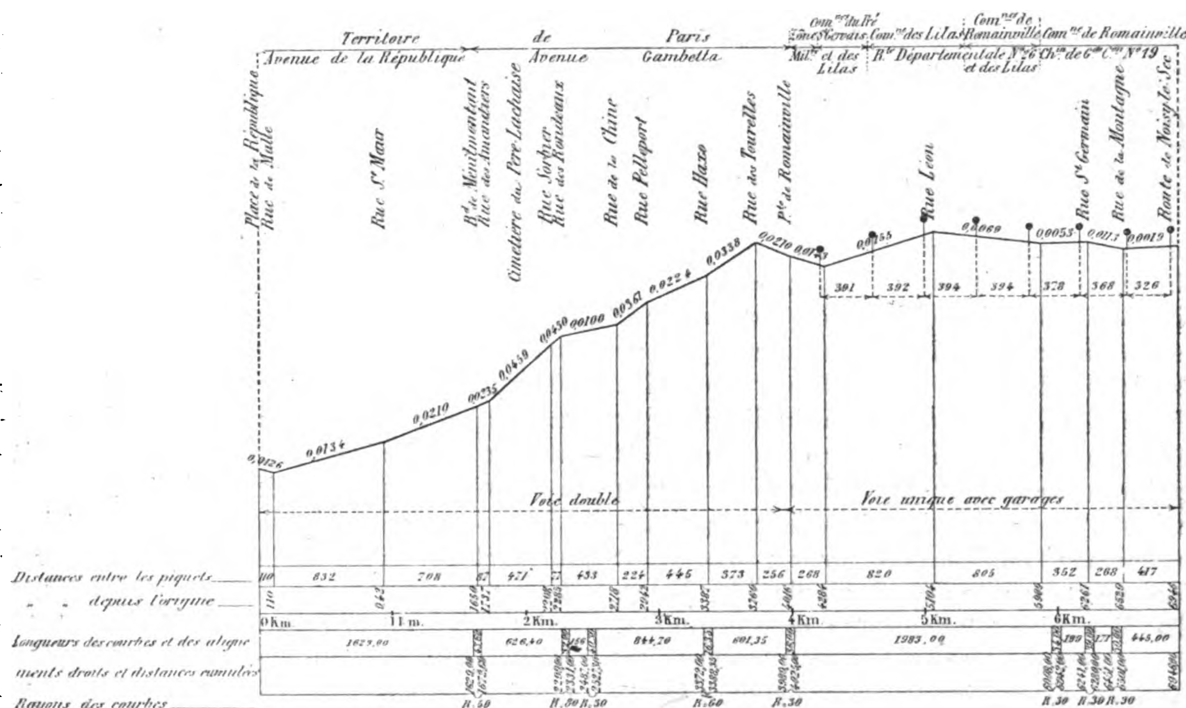


Fig. 22. — Profil en long de la ligne.

suspendues de plus de 3 mètres de long appuyant sur de simples pavés métalliques n'ayant que 150 cm² de surface. Le système de frotteur adopté donne de bons résultats, sauf peut-être le cisaillement que semble produire sur les pavés la tranche des fers cornières. Néanmoins on comprend qu'un pavé d'aussi faible surface puisse être facilement mis hors d'état de donner un contact électrique par un obstacle insignifiant. Nous avons vu par exemple, pendant la période d'essai, le tramway s'arrêter parce qu'un morceau de plâtre à peine gros comme un œuf était tombé sur la voie et par un malencontreux hasard avait été étalé juste au milieu d'un pavé métallique, qu'il avait recouvert suffisamment pour interrompre la communication électrique. Afin d'éviter le renouvellement d'incidents de ce genre on a adjoint au chasse-pierre, qui écarte les obstacles gros et résistants, un balai destiné à chasser les corps étrangers à demi collés sur les pavés.

Quoique moins fréquents, d'autres incidents peuvent également se produire. La voiture peut s'arrêter par suite d'un défaut de contact accidentel survenu dans les divers frotteurs électriques du distributeur.

Dans les deux cas précédents le coupe-circuit du distributeur saute dès qu'il y a désaccord entre le distributeur et la voiture. Au

contraire, lorsque la voiture s'engage sur une section déjà occupée, le dispositif de sûreté n'agit pas et par conséquent on n'a pas à remplacer le plomb fusible du coupe-circuit ; le véhicule s'arrête simplement et l'on doit comme précédemment remettre à la main le distributeur sur la bonne touche.

Les incidents que nous venons d'examiner ne présentent pas grande gravité car ils se traduisent par un simple arrêt de 3 à 4 minutes au plus, la remise en position du distributeur s'effectuant très rapidement.

Mais l'incident prend une importance plus grave si l'arrêt, au lieu d'être dû à une cause fortuite provient, d'un dérangement permanent survenu dans le distributeur. Il suffit néanmoins pour remettre les choses en ordre de changer le distributeur. L'opération est très simple, vu la disposition des appareils : le commutateur de la fosse étant coupé, on enlève les 21 chevilles des touches, la cheville d'entrée et la cheville de terre du distributeur puis, l'on retire celui-ci de son support en le soulevant avec le crochet qui se trouve dans la fosse ; on saisit de la même façon le distributeur neuf que l'on pose sur son support, et l'on remet ensuite dans leurs douilles les 23 chevilles qui ont été enlevées précédemment. Nous avons constaté, montre en main, lors d'un incident survenu inopinément pendant la période d'essai, que l'opération proprement dite du remplacement d'un distributeur ne demande pas plus de 3 minutes, 1 minute pour enlever le distributeur défectueux et 2 minutes pour en remettre un autre à la place. Mais l'arrêt du tramway se trouve prolongé par des pertes de temps accessoires ; d'abord on ne change le distributeur qu'après avoir constaté qu'il présente un dérangement permanent : on s'en aperçoit lorsque ayant, aussitôt après l'arrêt de la voiture, remis le distributeur en position, le véhicule ne peut pas se remettre en marche ou s'arrête au bout de quelques mètres ; le mécanicien doit ensuite prendre dans la voiture le distributeur de réserve et le porter jusqu'au poste de distributeur, pendant que le conducteur enlève le distributeur défectueux et vient le remiser dans la voiture. Avec toutes ces allées et venues l'arrêt du véhicule atteint bien vite 7 à 8 minutes, ce qui apporte un trouble sérieux dans le service. Heureusement ces incidents, qui ont été assez fréquents pendant la période d'essai et qui se reproduiront peut-être au début de l'exploitation, deviendront très rares lorsque la Compagnie, qui a dû ouvrir la ligne à la hâte, aura eu le temps d'examiner soigneusement tous ses distributeurs. Les dérangements qui surviennent aux distributeurs sont dûs le plus souvent à un défaut de construction ou de réglage des divers organes de l'appareil, défaut décelé facilement par un essai de laboratoire d'une durée un peu longue. Par exemple l'incident que nous citions tout à l'heure provenait d'un avachissement du ressort de rappel causé par le contact répété de deux pièces présentant un frottement trop grand. Si l'on avait eu le temps d'essayer le distributeur au laboratoire on se serait aperçu du frottement excessif du contact, on aurait ajusté convenablement les pièces et l'incident ne serait pas arrivé.

D'après l'expérience acquise en Amérique sur certains tramways et en France sur le chemin de fer à prise de courant par rail, de Saint-Etienne à la Béraudière, il est probable que la pluie, la neige, etc., ne créeront aucun ennui sur la voie sectionnée du tramway Claret-Vuilleumier. Ce seront plutôt les organes du distributeur qui seront influencés par le mauvais temps. Les appareils contenus dans les fosses paraissent assez robustes pour résister aux intempéries, mais l'expérience seule permettra de se faire une opinion exacte sur ce point, de même qu'elle seule pourra nous dire si la complication du système peut gêner le service par des incidents trop fréquents, ou rendre l'entretien coûteux par une destruction trop rapide des appareils.

Le fonctionnement du tramway Claret-Vuilleumier est en effet beaucoup plus délicat que les systèmes à accumulateurs ou à trôlet. Les distributeurs se meuvent avec une vitesse excessive. En se reportant au graphique de la figure 3 que nous avons établi dans notre

premier article, on voit que les organes sont mis en mouvement à 1 seconde 1/2 d'intervalle pendant une période égale à 27 centièmes de seconde seulement.

Les positions successives de la roue dentée et des diverses manettes du distributeur sont extrêmement rapprochées puisqu'elles se succèdent à des intervalles variant de 2/100 à 6/100 de seconde. Mais les dimensions des pièces étant très faibles, leurs mouvements se font avec des vitesses angulaires et linéaires bien inférieures à celles que l'on rencontre généralement dans les pièces de machines. Reste comme point délicat le mouvement de l'armature des électroaimants. On conçoit aisément qu'il faille bien peu de chose pour déranger la marche d'une armature qui doit arriver en *dix-huit centièmes de seconde* environ au bout de sa course et avoir, pendant ce temps, passé par 2 phases distinctes : enclanché d'abord une roue dentée, puis fait tourner cette roue de 1/20 de tour. Espérons que les appareils seront assez robustes et assez bien réglés pour supporter sans inconvénient cette succession de mouvements ultra-rapides.

Un autre inconvénient du système Claret Vuilleumier, c'est de rendre presque indispensable l'emploi de la terre comme conducteur de retour, ce qui cause souvent, on le sait, bien des ennuis, en provoquant l'attaque des conduites métalliques voisines ou en amenant des perturbations dans les circuits téléphoniques placés à trop faible distance. Les inconvénients du retour par la terre peuvent, dans certains cas, devenir tels qu'on n'a pas hésité, en Amérique, à établir des tramways à conducteurs aériens avec fil et trôlet de retour, malgré la complication de fils et d'aiguillages que cette disposition entraîne. C'est un des grands avantages du système à trôlet souterrain de pouvoir, avec la plus grande facilité, être monté avec conducteur de retour isolé.

Le système Claret Vuilleumier présente encore un autre inconvénient que nous avons été, croyons-nous, le premier à signaler, à propos du tramway de Lyon [1]. Si une voiture s'engage sur une section de distribution encore occupée par un autre véhicule, cette voiture s'arrête, nous l'avons vu précédemment, et l'on est obligé de rectifier à la main la position du distributeur avant de pouvoir la remettre en marche. Pour que l'incident se produise, il suffit que le mécanicien aborde une section nouvelle lorsque sa voiture est à moins de 95 m en arrière de la précédente. Evidemment cette éventualité n'est guère à redouter sur l'avenue de la République et l'avenue Gambetta, où la circulation est peu active et où les voitures se succèderont à des intervalles suffisamment longs. Mais l'inconvénient qui, dans le cas présent, est de minime importance, pourrait rendre l'exploitation du tramway très difficile dans le centre de Paris. La ligne devrait forcément, dans ces quartiers, avoir des départs très rapprochés, et le tramway circulerait dans des rues très fréquentées. Le tramway pourrait alors se trouver fréquemment arrêté ou retardé par des embarras de voitures ; la voiture suivante s'arrêterait alors d'elle-même si le mécanicien, jugeant mal sa distance, n'arrêtait pas ou ne se maintenait pas à plus de 95 m en arrière. L'incident, quoique sans gravité, causerait une perte de temps préjudiciable et, s'il se répétait souvent, pourrait entraver la bonne marche du service.

On pourrait, il est vrai, rendre les incidents de cette nature très rares en diminuant la distance qui sépare deux distributeurs. Mais il faudrait alors augmenter le nombre de ces appareils, ce qui augmenterait en même temps les frais de premier établissement et même d'entretien de la ligne et enlèverait au système la plus précieuse de ses qualités.

C'est précisément parce que les distributeurs peuvent être relativement très éloignés que le tramway Claret Vuilleumier est supérieur à tous les autres systèmes à rails sectionnés qui exigent autant d'appareils magnétiques ou mécaniques de prise de courant qu'il existe de tronçons de rails et coûtent par conséquent très cher à établir.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, 4 mai 1895, p. 218

De même, le plus grand obstacle à l'adoption des systèmes souterrains ne réside pas tant dans la difficulté d'entretien du caniveau que dans l'onéreuse dépense d'établissement de cette conduite.

Au contraire, le prix d'établissement du tramway Claret-Vuilleumier, de l'avis général des personnes compétentes qui ont examiné la construction de la ligne de Romainville, est très peu supérieur à celui d'une ligne à trôlet, surtout si l'on tient compte de la nécessité de poser dans l'intérieur des villes le fil aérien sur des supports de forme artistique c'est à dire coûtant cher.

Le tramway à trôlet, cela est presque évident *à priori*, reste pourtant le système le plus économique, et par conséquent n'a pas de concurrent à redouter dans les campagnes ou les villes aux voies peu fréquentées. Mais dans les grandes cités telles que Paris, où les édiles tiennent compte, avec juste raison, de la question d'esthétique, on donnera certainement la préférence à un autre système que le trôlet, même s'il coûte un peu plus cher d'établissement et d'entretien.

En résumé, le tramway de la Place de la République à Romainville constitue une application intéressante d'un système nouveau dont la réussite pourra avoir une grande influence sur le développement de la traction électrique dans les grandes villes.

La ligne de Romainville, quoiqu'à peine ouverte, obtient déjà beaucoup de succès auprès des habitants de Belleville et des localités chères à Paul de Koch, qui depuis longtemps réclamaient véhémentement un moyen de communication quelconque qui pût les rapprocher du centre de Paris, ainsi qu'en témoigne l'anecdote suivante :

Une concession avait été accordée, il y a bien de cela 6 ans, à une société qui se proposait de desservir Romainville par un tramway à traction mécanique. Trois, quatre ans se passèrent sans que les travaux fussent même commencés. Les habitants voisins du Lac Saint-Fargeau étaient très mécontents. Un brave marchand de vins des Lilas mit un jour dans sa devanture, en matière de protestation, un tableau représentant le tramway de Romainville traîné par deux tortues et agrémenté d'un canard, d'un lapin et d'une balançoire. Le premier concessionnaire fut déchu de ses droits ; une nouvelle concession fut accordée en avril 1895 à M. Claret et les travaux furent poussés activement. Notre homme resta sceptique et refusa jusqu'au dernier moment de vendre son tableau. Mais, au jour de l'inauguration, lorsqu'il vit les nouveaux véhicules, emportés par une force invisible, filer avec rapidité sur Paris, il fut touché par la grâce, et l'on peut admirer à présent à sa porte une nouvelle toile, d'une exécution aussi naïve que la première, montrant cette fois, dans une rue inondée de lumière par des candélabres électriques, le tramway Claret qui s'avance triomphalement, tandis que le vieux tramway à tortues est culbuté et projeté en l'air.

Et ce n'est que justice. Dire d'un mécanisme qui sursaute 40 fois par minute et opère par bonds de 3/10 de seconde, qu'il a une allure de tortue, ç'eût été le comble de l'ironie : moi je dirais plutôt qu'il est épileptique !

CH. JACQUIN.

LE TRAITEMENT ÉLECTRIQUE DES MINERAIS DE BROKEN-HILL (1).

Il a été fait beaucoup de bruit autour du procédé Ashcroft pour traiter les minerais réfractaires de zinc de Broken-Hill que caractérise un mélange de sulfures de zinc et de plomb, avec, ou sans cuivre, argent et or.

On en parle même beaucoup à présent, mais sans beaucoup savoir ce qui se passe dans cette entreprise où de grands capitaux ont été mis à la disposition des personnages qui en ont été les promoteurs en Angleterre.

Si quelqu'un doit connaître les minerais de Broken Hill, ce doit être M. Ashcroft qui

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 203 et 508 ; 16 mai et 13 juin 1896.

était l'électricien de la Compagnie de Broken Hill où il a dû avoir toutes les opportunités nécessaires pour se rendre compte du caractère rebelle de ces mélanges de blende et de galène argentifère avec une gangue où dominent les matières silicieuses Si tous les électriciens qui sont chargés de l'éclairage et des applications diverses de l'électricité dans les mines, consacraient leurs loisirs à l'étude des minerais qu'ils ont à leur portée et de leur traitement par l'électro-chimie, il est bien certain que l'électro-métallurgie ferait de grands et rapides progrès.

La plupart d'entre eux, malheureusement, ne sont que d'habiles monteurs parfaitement au courant des installations, qui ont une grande expérience en matière d'éclairage, de transmission d'énergie, etc., mais qui ne sont pas aptes à faire des expériences électrolytiques, parce qu'ils ne sont au courant ni de la métallurgie ni de la chimie. M. Ashcroft n'appartient pas à cette catégorie : il possède au contraire toutes les qualités et les qualifications d'un véritable électro-métallurgiste, et sa méthode le prouve amplement.

En quelques mots, disons qu'il oxyde le minerai par un grillage préliminaire dans un four à reverbère pour transformer les sulfures en oxyde et en sulfates. Une fois ceci fait, il lessive le minerai au moyen d'une solution de chlorure ou de sulfate ferrique.

Rien de nouveau jusque là. Cette lixiviation là, il est peu de gens du métier qui ne la connaissent. M. Ashcroft a pris la peine de nous expliquer que lorsqu'il y a plus de zinc que de plomb dans un minerai, il est préférable de se servir de chlorure ferrique, mais que, si c'est le contraire qui arrive, c'est au sulfate qu'il faut recourir.

Le minerai calciné est lessivé au moyen d'une solution de sulfate de zinc additionnée d'une faible proportion de sulfate de fer $Fe^2(SO^4)^3$ qui transforme l'oxyde et le sulfate basique de zinc aussi bien que la blende en sulfate neutre de zinc, en même temps que le fer de la solution est précipité comme hydroxyde ferrique, insoluble dans le sulfate de zinc, qu'on peut utiliser plus tard par la fusion.

Une fois le fer précipité, il ne reste plus dans la solution qu'un peu de sulfate de fer dont on pourrait récupérer le métal au moyen de zinc métallique ou de réactifs alcalins tels que la chaux, la soude et la magnésie. C'est ici que commence le procédé électrolytique, mais ce procédé est double, car une portion du zinc, équivalente à celle qui provient du minerai, est déposée sous forme métallique tandis que d'un autre côté, une quantité de fer, suffisante pour absorber l'acide et l'oxygène que le zinc a libérés, entre d'abord en solution comme sulfate ferreux et se transforme ensuite en sulfate ferrique. Les cuves électrolytiques sont disposées en batteries de trois ; deux d'entre elles sont munies d'anodes solubles en fer ; dans la troisième, les anodes sont en charbon ; quant aux cathodes, elles sont soit en laiton, en cuivre, ou en zinc. Les cuves sont reliées entre elles en série, de sorte que chacune d'elles est traversée par la même quantité de courant. Les deux premières, celles qui ont des anodes en fer, peuvent avoir des électrodes séparées par des diaphragmes poreux, en amiante ou en papier parchemin qui ne descendent pas jusqu'au fond de l'électrolyseur, mais y laissent un espace de plusieurs centimètres pour permettre la circulation constante du liquide.

Ici nous devons renouveler nos réserves au sujet de l'inopportunité de l'emploi de diaphragmes poreux et surtout de semblables diaphragmes poreux qui s'encrassent, s'encroûtent et opposent une résistance considérable.

En outre, c'est un singulier moyen pour favoriser une circulation constante que d'interposer entre les anodes et les cathode des barrages qui ne permettent au liquide de passer que juste dans le fond ; une circulation complète est celle d'un liquide qui est en contact constant sur tous leurs points, avec les surfaces des électrodes ; donc, celle du procédé Ashcroft est absolument défectueuse, malgré la précaution qu'on a de verser constamment une solution de sulfate de zinc

exempte de fer en haut des compartiments négatifs. Il est difficile d'accepter la théorie que cette solution abandonne en descendant son zinc qui se dépose sur les cathodes et, qu'en remontant dans les compartiments positifs, elle se charge d'une certaine partie du sulfate ferreux à cause de la dissolution d'un équivalent de fer en volume correspondant au poids du zinc déposé dans les deux cuves.

Dans la troisième cuve, les anodes sont en charbon, et les diaphragmes, au lieu de n'aller que jusqu'à quelques centimètres du fond vont jusqu'au fond et constituent de véritables compartiments étanches. La solution de sulfate de zinc et de sulfate de fer est électrolysée dans les compartiments positifs, et une solution de sulfate de zinc qui ne contient pas de fer est électrolysée dans les compartiments négatifs. L'anolyte entre par le haut de l'électrolyseur et en sort par le bas. Le catholyte y arrive par le bas et déborde par le haut dans le compartiment positif. De cette façon, toute solution contenant du fer qui aurait pu traverser par diffusion les diaphragmes, et par suite, aurait été réduite en présence de la cathode, de l'état ferrique à l'état ferreux, passe de nouveau le long des anodes et se persulfatise sous l'influence de l'oxygène et de l'acide.

Toutes les plus belles équations chimiques du monde sont impuissantes pour nous convaincre de la valeur industrielle que peut avoir un procédé si compliqué. Il est très possible que tout le fer dissous comme sulfate ferreux daus les deux premiers bacs soit converti en sulfate ferrique dans le troisième et que l'emploi des anodes en fer dans les premiers bacs et d'anodes en charbon dans le troisième soit excellent pour se procurer une solution de sulfate ferrique destinée à la lixiviation des minerais et à déposer le zinc. Mais, instinctivement, nous nous disons que la méthode Ashcroft, si bonne qu'elle puisse être en théorie n'est guère applicable en grand et nous sommes d'autant plus sceptiques que les dispositifs électrolytiques laissent beaucoup à désirer.

On nous promet une grande économie parce que dans les deux premières cuves la f. é. m. ne doit être que de 0,5 v et que dans la troisième elle ne dépasse pas 1,5 v, mais cela nous laisse indifférents.

Dans son ensemble, le système pèche sous différents rapports, et nous ne voyons du reste aucunement comment il pourrait fonctionner avec constance, régularité, uniformité avec des cloisons poreuses périssables qui, si elles n'exigent pas d'être renouvelées fréquemment, jouent toutes sortes de tours aux opérateurs qui comptent sur elles pour séparer deux électrolytes sans qu'il y ait diffusion ou mélange.

On ne connaît pas assez les travaux de C. Höpfner qui, à une érudition immense en matière d'électrochimie, joint une connaissance profonde, une grande expérience et surtout une imagination très ingénieuse qui lui fait trouver des combinaisons tout à fait originales. Il semble cependant qu'il n'ait pas été aussi heureux pour le zinc que pour plusieurs autres minéraux. Il propose une chloruration du plomb par le chlore, le chlorure de fer ou de cuivre. Inutile de s'y arrêter. Citons Choate qui amène le zinc du minerai à l'état d'oxyde et qui l'électrolyse ensuite en se servant d'anodes de plomb ou de charbon. Mais arrivons vite aux Siemens qui paraissent avoir résolu le problème. Ce sont de redoutables adversaires, car, ayant comme ils l'ont un personnel d'élite, et disposant de moyens pécuniaires pur ainsi dire illimités, ils peuvent faire étudier par des savants spécialistes toutes les questions mécaniques, chimiques ou électriques. Sur quelque terrain qu'ils se placent, ils ont d'emblée plus de chances que n'importe qui au monde d'arriver au but parce que fallût-il une fortune pour faire des essais et des expériences relativement à une question intéressante ils n'hésiteront pas à les faire faire en petit, puis en grand et monteront des installations industrielles pour s'assurer qu'ils peuvent entreprendre telle ou telle exploitation quelconque.

C'est ce qu'ils ont fait avant de se risquer

à tenter l'aventure à Broken-Hill. Ils avaient monté une usine près de Berlin où ils traitaient des minerais réfractaires d'Australie. Ayant appris que Marsh et Storn, deux métallurgistes de la Nouvelle-Galles du Sud, avaient un bon procédé pour calciner le minerai et le lessiver, ils se sont entendus avec eux et se sont ainsi trouvés prêts à entreprendre dans des conditions excellentes l'électrolyse des solutions de sulfate de zinc. Le grand point est d'arriver à obtenir une solution de zinc bien pure. Hors de là, pas de salut ! Les moindres impuretés suffisent pour gâter des cuvées de solution et donner des dépôts qui n'adhèrent pas, qui sont boueux ou spongieux. On ne s'imagine pas ce que c'est que d'avoir une cuvée de solution métallique quelconque qui ne remplit pas les conditions voulues. Que ce soit un bain de sulfure ou de cyanure, du moment qu'il y a quelque chose qui cloche, on n'en sort pas facilement. Les opérations électrolytiques doivent se faire d'une certaine façon qui réussit, et si on néglige quelque détail, si on veut se soustraire à la règle, on ne doit pas s'étonner des conséquences fâcheuses qui surviennent. *Barba bene lota, barba semi facta.* Le dicton est vulgaire, mais il dit vrai, parce qu'il nous recommande de ne pas négliger les opérations ou les détails préliminaires. Commencez par faire tous vos efforts pour que votre solution soit bien pure, bien homogène. Puis assurez-vous des conditions de travail dans lesquelles vous serez rationnellement, suivant que vous vous servirez d'une solution de sulfate de zinc, acide alcaline ou neutre.

Les frères Siemens ont trouvé que si le bain est alcalin et contient d'autres métaux, on n'a qu'un dépôt spongieux de zinc. Pareille chose arrive, cependant, lorsque la solution est pure, mais qu'elle est franchement acide. Tels sont les écueils, ils ne laissent pas que d'être fort dangereux. Que devient la théorie de l'ordre dans lequel les métaux sont déposés ? L'électrolyse industrielle est à l'électrolyse en laboratoire ce que le tir à la cible, ou les savants et élégants coups de fleuret à la salle d'escrime, sont à la vraie guerre ou au véritable duel. Ne comptez pas trop que l'argent se dépose le premier, puis que ce sera un autre métal quelconque. On dit, par exemple, que dans une solution de cyanure contenant différents métaux on a d'abord sur la cathode un alliage d'argent et d'or, puis de l'or tout seul, de l'or contenant du cuivre et du cuivre allié à du zinc. D'après Berzélius, chaque métal est réduit de sa solution par le métal qui vient après lui, mais tout en respectant comme vraies les théories scientifiques et l'ordre dans lequel les éléments positifs et négatifs sont rangés, il ne faut pas compter sur cette obéissance des métaux à venir hiérarchiquement et docilement sur les plaques négatives. Quand on se place dans des conditions absolument spéciales, cette séparation des métaux peut se produire dans un ordre régulier, mais dans une exploitation commerciale, les choses marchent tout autrement, et dans un bain où le zinc domine, ce qu'on a de mieux à faire c'est de ne rien négliger pour avoir une solution aussi pure que possible. On ne peut évidemment pas y arriver entièrement, mais on obtient d'excellents résultats en corrigeant les défauts d'une solution qui contient des impuretés en accélérant le débit de circulation, et d'après MM. Siemens une très rapide circulation a une action moléculaire dans l'électrolyse du zinc qui empêche la formation du métal spongieux. Il y a plusieurs manières d'obtenir cette circulation de l'électrolyte à grande vitesse ; on peut par exemple recourir à un dispositif mécanique pour agiter le liquide ; des hélices, par exemple, peuvent provoquer cette agitation qui est jusqu'à un certain point l'équivalent d'une circulation, mais dans le procédé Siemens on a simplement recours à un refoulement d'air sous pression dans le bas des cuves qui produit un bouillonnement et par conséquent une circulation complète de la masse. Il y a évidemment une action très caractéristique causée par l'oxydation des impuretés du bain par l'air.

L'Éclairage Électrique a déjà décrit ce

procédé et a donné, pour montrer dans des dessins, l'arrangement de ces cuves électrolytiques [1]; les anodes sont en charbon ou en plomb et les cathodes en zinc; elles sont séparées par des cloisons en bois qui n'atteignent ni le fond des cuves, ni le niveau de la surface du liquide. Dans chaque compartiment se trouve un tuyau perforé qui amène l'air sous pression; il fait bouillonner et monter le liquide au dessus de la cloison; c'est de la circulation de bas en haut; elle peut être aussi rapide qu'on le veut; c'est à l'expérimentateur d'en régler la marche d'après les résultats que tel ou tel débit lui assure. Dans les électrolyseurs Siemens, avec des électrodes de 1 m de long et 0,70 m de large qui supportent un courant de 50 ampères par mètre carré de surface de cathode, on fait passer en moyenne 1,3 mètre cube d'air par heure et par cathode; le bain est une solution de l'oxyde de zinc dissous par l'acide sulfurique et qui a subi un traitement convenable pour le débarrasser de toute impureté. Cet électrolyte de sulfate de zinc qui a une densité d'environ 10° Baume, est additionné de 5 à 10 grammes d'acide sulfurique par litre et dans ces conditions-là, on a un dépôt constant, régulier, de zinc métallique.

Il est à remarquer qu'en passant à travers l'appareil électrolytique, l'électrolyte devient plus acide.

Tels sont dans leur ensemble les différents procédés auxquels on a eu recours pour traiter les minerais réfractaires de zinc; à vrai dire, il n'y a que les deux procédés électrolytiques Ashcroft et Siemens et le procédé métallurgique du Syndicat Burnham qui aient quelque chance de réussite et encore Asheroft a le moins de chance des trois. On ne peut rien préjuger pour le moment; nous ne connaissons pas le prix du traitement d'une tonne de blende de Broken-Hill par le procédé Siemens; nous le croyons minime, mais on ne peut jamais compter avec l'inconnu, et quant au procédé métallurgique, les expériences faites à Swansea par le Syndicat nous disent que tout compris, on peut traiter chaque semaine 1 400 tonnes de minerai ordinaire et 600 tonnes de minerai concentré à raison de 81 fr la tonne, ce qui en tenant compte de l'or qu'on extrait, 7,50 fr par tonne, donne un profit net d'environ 20 fr. D'ici à quelques mois, nous en saurons davantage, car nous aurons les résultats de l'exploitation des deux systèmes en Australie, mais d'ores et déjà nous ne croyons pas nous avancer trop loin en disant que si l'électrolyse ne fait pas mieux que la fusion, elle fera tout aussi bien et à aussi bon marché.

EMILE ANDRÉOLI.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 262, 9 novembre 1895

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Recorder phototélégraphique Ader (1895).

Les courants télégraphiques traverse un fil de cuivre C très mince ne pesant que de 1 à 2 milligrammes tendu en tt (fig. 1) entre les pôles N S d'un aimant puissant A, de manière qu'il s'y déplace, dans un sens ou dans l'autre, suivant

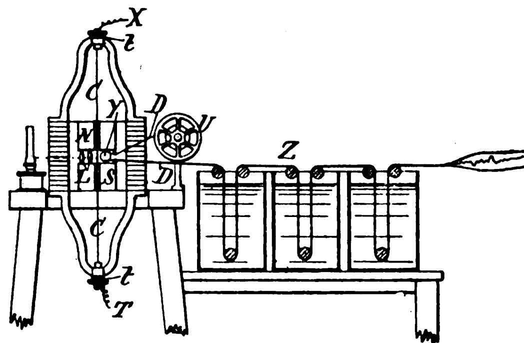


Fig. 1. — Recorder phototélégraphique *Ader* (1895)

qu'il est traversé par un courant positif ou négatif. Ces déplacements sont projetés par un jeu de lentilles L L, au travers de la fente f d'un écran R, sur un papier photographique D D, déroulé en U, puis passé immédiatement dans un bain fixateur Z. Les déplacements du fil se développent ainsi sur la bande de papier en une ligne sinueuse ana-

logue à celle que trace le siphon recorder, avec, d'après M. Ader, l'avantage que le fil C.

Fig. 2. — Recorder phototélégraphique *Ader* (1895).

(fig. 2) n'a pour ainsi dire pas d'inertie tandis que les organes mobiles du siphon recorder pèsent au moins un gramme.

G. R.

Méthode du docteur Jacques pour obtenir l'électricité directement du charbon.

Sous ce titre nous signalions il y a quelque temps (1), l'intéressante découverte du docteur Jacques, de Boston.

Rappelons brièvement que dans ses expériences l'inventeur immergeait une lame de charbon dans une dissolution de soude caustique contenue dans un récipient en fer et maintenue à une très haute température. Les deux pôles étaiet constitués, l'un par la lame de charbon, l'autre par le récipient même. L'élément ainsi disposé était placé dans un fourneau que l'on chauffait pour porter la dissolution à la température nécessaire et obtenir l'effet désiré. Le courant que l'on obtenait ainsi n'avait pû être mesuré, ou du moins les détails de l'expérience ne faisaient pas connaître les résultats exacts de ces mesures.

Il paraît que tout récemment le docteur Jacques a construit une batterie formée par 100 éléments de ce type ayant chacun 30 cm de profondeur et 38 cm de diamètre. Ces 100 éléments sont enfermés jusqu'à environ 2 cm du bord dans un fourneau en briques qui sert à chauffer et maintenir la température da la solution. Des mesures viennent d'être faites en présence de MM. Stone et Webster. Ceux ci ont pû s'assurer que le courant fourni par la batterie a maintenu 30 lampes de 16 bougies allumées pendant 18 heures 45 minutes. La tension moyenne a été de 90 volts et l'intensité de 18 ampères pendant toute la durée l'expérience. L'examen de la batterie a montré que la quantité de charbon consommé par l'oxydation n'a été que de 3,624 kg pour l'énergie totale fournie par la batterie. MM. Stone et Webster évaluent le rendement du charbon consommé dans les éléments à environ 82 pour 100 du rendement théorique.

L. D.

(1) *Éclairage Électrique*, t. VII, p. 171, 25 avril 1896.

Commutateur automatique Brokie (1895).

Ce commutateur a pour objet de permettre de remplacer à distance un circuit de lampes à arcs *a* (fig. 2) par un circuit d'incandescence *i*, et réciproquement. Quand l'arc fonctionne, son solénoïde A rappelle son armature C. Pour allumer les arcs on lance un courant assez fort pour que b^1, repoussant b^2, déclanche *b*, de sorte que lorsqu'on rompt *a*, C retombant dans le contact à mercure M ferme l'incandescence *i*. Pour rompre *a* sans allumer *i* on laisse retomber lentement B de manière qu'il s'enclanche en *b* puis on coupe *a*.

En fig. 3 à 5, le cliquet B est solidaire d'un aimant P. Quand *a* fonctionne, C, attirant P,

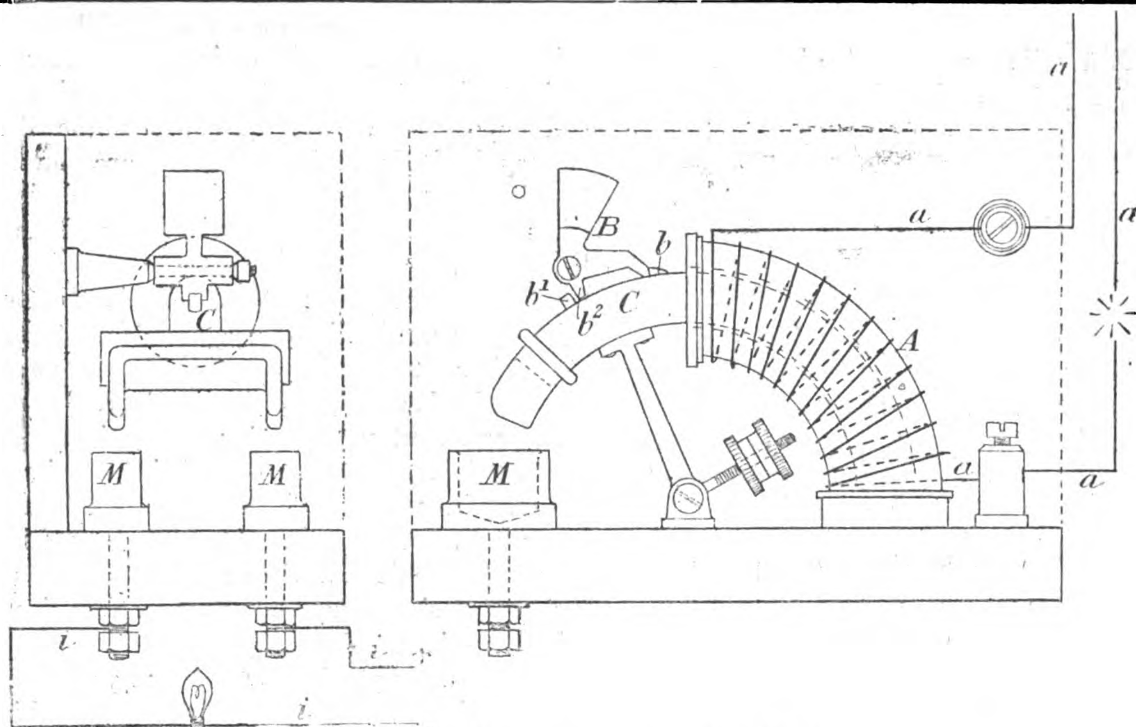


Fig. 1 et 2. — Commutateur automatique *Brokie*.

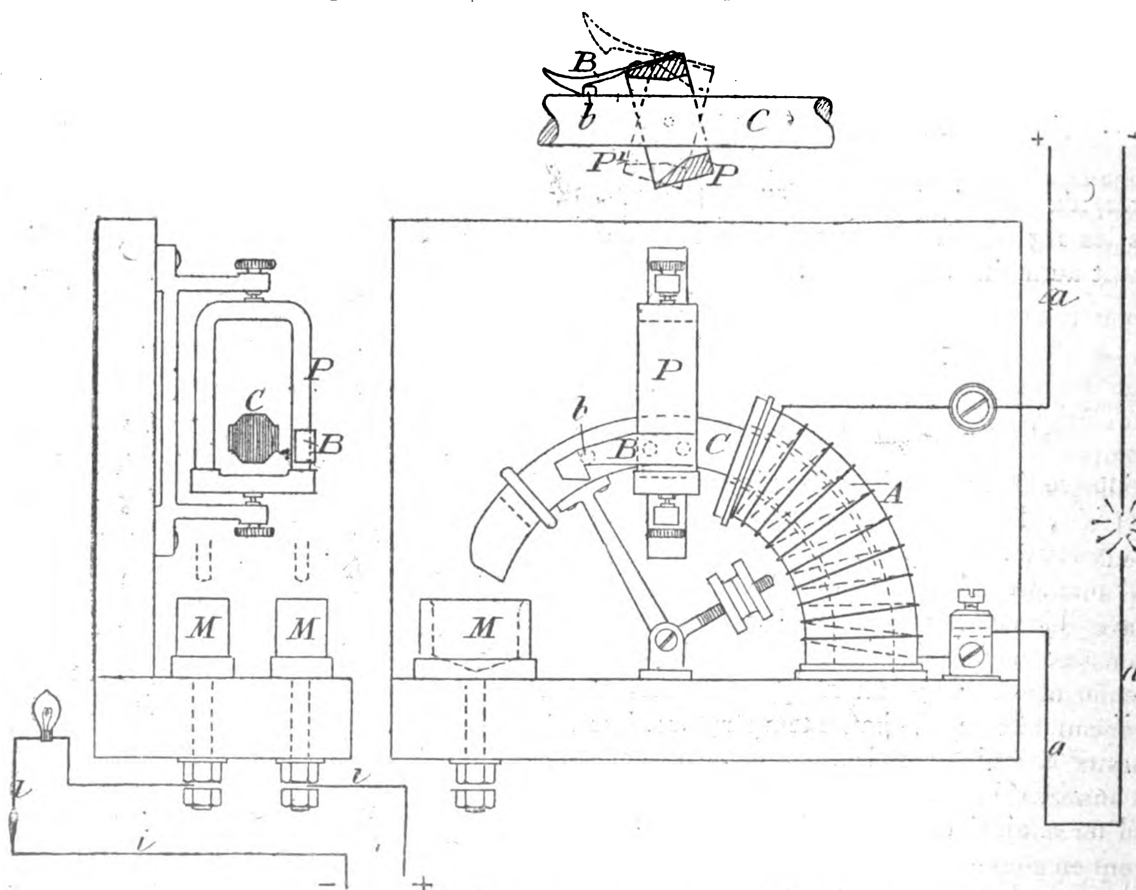


Fig. 3 et 4. — Commutateur automatique *Brokie*.

se fait enclancher en B *b* ; il suffit de renverser un instant le courant de *a* pour faire basculer P dans la position pointillée P_1, qui laisse C retomber en M et fermer *i*.

G. R.

Boussole compensée Siriex (1895)

L'aimant de cette boussole est constitué par une série de lames en acier C, enroulées en spirale comme l'indique la figure 6, de manière à déterminer deux champs ortho-

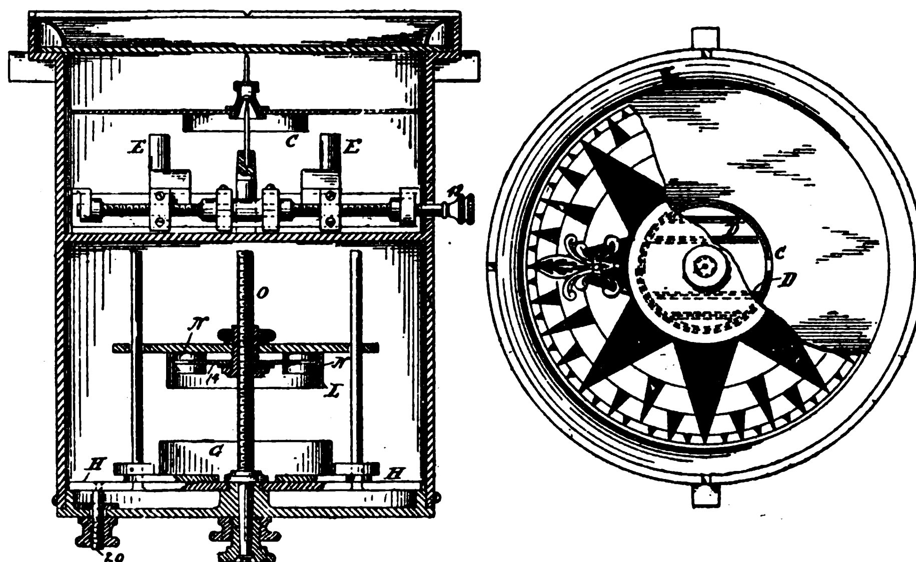


Fig. 1. et 2. — Boussole compensés Siriex (1895)

gonaux, l'un N S et l'autre X Y, rigoureusement neutre ; dans cet anneau, sont disposés quatre barreaux aimantés D (fig. 2), espacés de 30 mm, parallèles au plan N S, et de même polarité.

La déviation quadrantale, produite par l'action qu'exercent, dans un plan parallèle au compas, les masses de fer du navire, est compensée par les deux pôles E E réglables orthogonalement par les vis 12 et 13 (fig. 3 et 4).

L'erreur semi-circulaire est corrigée par deux compensateurs : 1° un anneau aimanté G, analogue à C, avec ses pôles parallèles à l'axe du navire, et qui permet d'installer la boussole sur des navires en bois qui peuvent renfermer des cargaisons de fers ; 2° un second anneau aimanté L, renfermant 16 petits anneaux N (fig. 5), divisés en deux séries de 8 anneaux chacune, séparées par une plaque en fer doux 14 et se recouvrant. Ces anneaux sont en contact avec L et 14, et tout l'ensemble peut, par la vis O, se rapprocher ou s'écarter des compas. Les deux anneaux compensateurs G et L s'orientent simultanément par la coulisse 21 de H (fig. 7) à vis de fixation 20.

G. R.

Commutateur multiple Siemens et Kingdom (1896)

Le commutateur est commandé par un levier H, pivoté en *h* et pourvu d'une sorte de cliquet B *p b*, dont la partie ronde B épouse celle de l'extrémité des dents du rochet W. Quand on fait faire un tour à H, *p* fait avancer W d'une dent, correspondant à l'intervalle d'une touche C, l'encoche *b* laissant passer la dent *w* ; puis le plan B reliant cette dent, jusqu'à ce que *p*, venant se rengager en *v*, fasse tourner W d'une nouvelle dent.

On peut, comme l'indique la figure 2, rem-

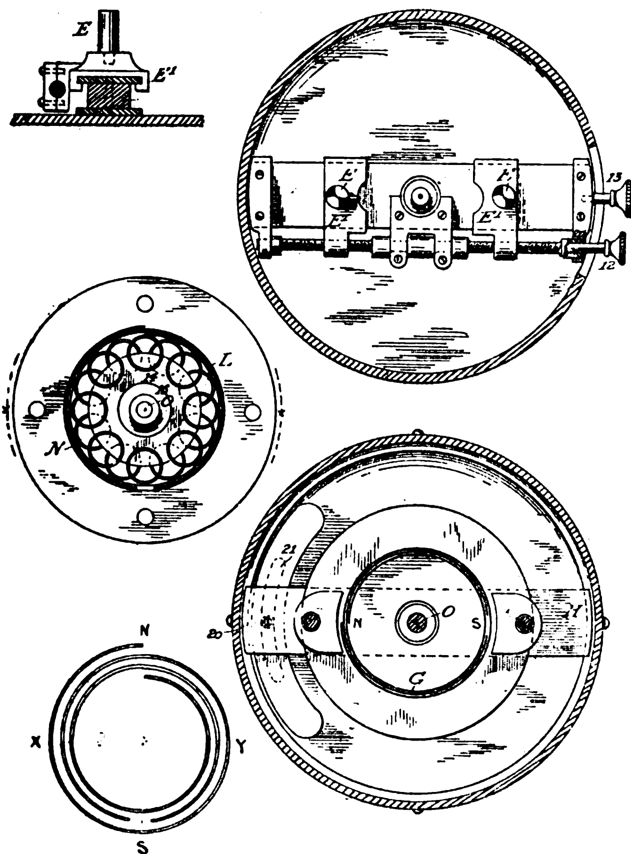


Fig. 3. à 7. — Boussole compensée Siriex (1895). (Voir page 597)

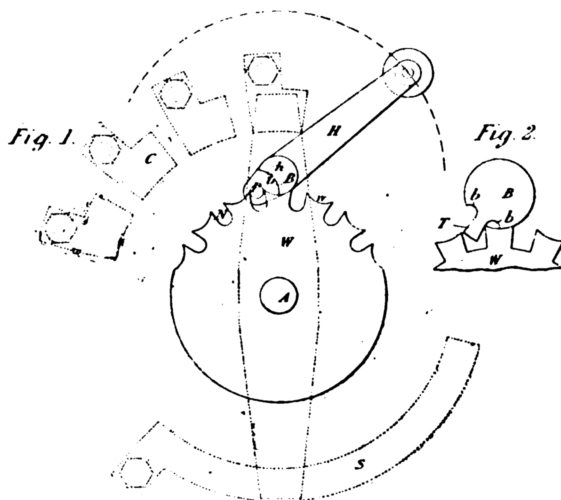


Fig. 1 et 2. — Commutateur multiple Siemens et Kingdon (1896).

placer *p* par une dent *r* à deux encoches *b b*. G. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Société Française de Physique (¹)

Séance du 5 juin

M. Bouty, communique une note de M. *Joubin*, « Sur les dimensions des grandeurs électriques et magnétiques ».

M. Joubin suppose que les grandeurs qui s'introduisent dans les systèmes d'unités électrostatiques et électromagnétiques sont de nature purement mécanique. Il en déduit :

(¹) Dans notre compte rendu de la séance du 15 mai (*L'Éclairage Électrique* du 23 mai, p. 568) nous signalons les expériences de MM. Oumoffet Samoïloff sur les « Images électriques dans le champ d'un tube de Hittorf ».

M. Righi nous écrit à ce sujet que deux mois auparavant il a « obtenu des effets semblables qui donnent des images ou ombres analogues à celles obtenues par la photographie (os de la main, objets métalliques enfermés, etc) »

Ces recherches de M. Righi sont exposées dans deux notes communiqués à l'Académie des Lincei le 1er mars dernier.

N'ayant pu, faute de place, donner dans nos colonnes l'analyse de ces deux notes au moment de leur publication, nous en reparlerons bientôt dans un article d'ensemble sur les rayons X.

Complétons immédiatement, d'après le résumé officiel des communications faites à la Société de Physique, les renseignements succints que nous avons donnés sur les expériences de MM. Oumoff et Samoïloff :

Dans l'expérience classique de M. Roentgen, les auteurs remplacent l'écran fluorescent ou la plaque photographique par une plaque d'ébonite, et développent l'image obtenue en insufflant sur la plaque un mélange de soufre et de minium. Si l'on n'interpose aucun obstacle entre le tube fluorescent et l'écran, soutenu dans l'air à quelques centimètres au-dessous du tube, on obtient sur les deux faces de l'écran une tache rouge intense, correspondant à la tache fluorescente du tube ; le reste de l'écran prend une teinte rougeâtre. Des découpures en métal, en verre, en papier, en contact parfait avec l'écran, donnent, des deux côtés de l'écran, des images rouges bordées d'une bande neutre ; le reste de l'écran est rouge.

Les auteurs ont beaucoup varié les conditions de leurs expériences et concluent, d'une manière générale, à la similitude des champs électriques d'un tube Hittorf et d'un conducteur électrisé.

1° Que les dimensions des pouvoirs inducteurs correspondants dans les deux systèmes sont respectivement

$$K = M^{-1} L T^{-2}$$
$$K' = M L^{-3},$$

c'est à dire que $\frac{1}{K}$ est un coefficient d'élasticité et K' une densité ;

2° Que le champ électrostatique H représente une pression ; le potentiel électrique est une tension superficielle ; la densité de masse électrique une force par unité de volume, etc ;

3° Que la densité de courant électrique i et la densité de masse magnétique représentent une vitesse angulaire ; le champ magnétique H une vitesse, etc. La force électromagnétique d'un champ sur un élément de courant serait en grandeur et en direction la force centrifuge composée due à la composition du champ H et de la rotation i.

Après deux communications fort intéressantes de M. Macé de Lépinay « Sur la détermination du kilogramme » et sur l' « Étude des changements de phases produits par diffraction », M. *Chabaud* fait une communication « Sur la relation entre le maximum de production des rayons X, le degré de vide et la forme du tube » qu'il a étudiée avec M. *Hurmuzescu*.

MM. Chabaud et Hurmuzescu ont remarqué qu'un tube de Crookes de forme cylinque donne un maximum d'effet pour une pression notablement supérieure à celle qui correspond au maximum des tubes en poires généralement employés (1/1000 de millimètre, d'après M. J. Chappuis). Ils ont pensé qu'on pourrait exagérer cette différence en prenant un tube long et de diamètre faible. Ce tube, présenté à la Société, a 83 cm de longueur, et décharge très rapidement l'électroscope quoique le vide, mesuré à la jauge de Mac Leod n'ait pas été poussé très loin ; il a son maximum d'effet pour une pression de 1 centième de millimètre comme le montre le tableau ci-joint qui donne, dans la première colonne, la pression du gaz en millimètres et, dans la seconde, le temps en secondes nécessaire pour décharger l'électroscope chargé au même potentiel,

0,025 mm	30 sec.
0,012	25
0,010	14
0,0096	40
0,0058	75

M. Chabaud présente ensuite un certain nombre de tubes, dans lesquels se trouvent trois électrodes, et où l'on peut empêcher la fluorescence de la partie du tube qui se trouve derrière le disque d'aluminium ; ces tubes ménagés peuvent avoir une très longue existence. En construisant des tubes avec un verre de composition spéciale, dont la luminescence propre ne ressemble pas à l'éclat vert des tubes ordinaires, mais est d'un violet particulier, M. Chabaud a obtenu des résultats particulièrement remarquables ; il avait constaté que, dans ces tubes, le vide se fait plus vite qu'à l'ordinaire ; il a été porté, par les expériences qu'il a effectuées, à supposer que toute la surface interne condense les gaz comme le fait, d'après M. Gouy, la paroi anticathodique ; aussi ces tubes, abandonnés à eux-mêmes, sont-ils résistants, et le courant n'y peut point passer ; mais, si on les chauffe un instant, ils redeviennent propres aux décharges permettant la production des rayons X très efficaces ; avec une certaine habitude, on peut régler le courant pour qu'il échauffe lui-même le tube au point voulu, et l'on obtient d'excellents effets pendant très longtemps. Avec des électrodes en palladium, M. Chabaud a obtenu des effets semblables pour d'autres tubes.

En terminant, M. Chabaud présente deux écrans, l'un au tungstate de calcium, l'autre au platino-cyanure de baryum, qui donnent tous deux de beaux effets de fluorescence sous l'influence des rayons X.

A la suite de cette communication, M. Guillaume présente : 1° de la part de MM. Imbert, Bertin-Sans et Gagnière, de Montpellier, la radiographie d'un enfant né à terme ;

l'épreuve montre la chair et tout le squelette, les dents dans les alvéoles, etc. ; 2° Une radiographie de coquillage faite par M. Albert Londe, au *Laboratoire de la Société l'Optique* ; l'enveloppe ne projette qu'une ombre assez faible, sur laquelle l'hélice intérieure se détache vigoureusement.

Séance du 19 juin 1896

La séance débute par une communication de M. *Colardeau* sur un « nouveau dispositif de tube de Crookes, donnant, avec de courtes poses, une grande netteté d'images ».

M. Colardeau expose les raisons qui l'ont conduit à apporter des modifications à la construction des tubes de Crookes destinés à la photographie par les rayons Roentgen. Les meilleurs tubes employés actuellement à cette application paraissent être ceux du genre dit « focus ». Avec la disposition et les dimensions qu'on leur donne habituellement, ils présentent plusieurs défauts, au point de vue de la netteté des images produites et de la rapidité de leur action. Ces défauts peuvent être résumés dans les quatre points suivants :

1° L'enveloppe de verre, (dont les dimensions sont à peu près celles d'une orange) doit avoir une épaisseur assez considérable, afin de ne pas s'écraser sous la pression extérieure. Comme le verre est peu transparent pour les rayons X, il arrête, au passage, une grande partie de ceux engendrés à l'intérieur.

2° Toute la capacité de l'ampoule qui s'étend autour des électrodes participe au passage de la décharge : il y aurait intérêt à concentrer toute l'énergie de cette décharge dans le cône circonscrit à la cathode et au focus.

3° Des expériences directes ont montré que le flux cathodique agit avec d'autant plus d'énergie sur l'anticathode, que celle-ci est située plus près de la cathode. Dans les focus ordinaires, cette distance, qui atteint plusieurs centimètres, est trop grande.

4° Enfin, il ne paraît pas exact qu'une cathode concave, en forme de calotte sphérique, concentre exactement en son centre de courbure le flux cathodique qui s'en échappe. En étudiant par un dispositif spécial, la forme de ce flux, M. Colardeau a trouvé que le point de concentration est variable avec le degré de vide et qu'il est, en général, beaucoup plus loin que le centre de courbure. Par suite, dans les tubes focus ordinaires, si la lame est placée au voisinage du centre de courbure géométrique, elle se trouve loin du point d'étranglement maximum de ce flux : elle est alors rendue active sur une large surface et la netteté des images en souffre.

Pour remédier à ces inconvénients, M. Colardeau a employé, pour construire l'appareil nouveau qu'il présente, un tube cylindrique de très faible diamètre (6 à 7 mm) dans lequel est ajustée une cathode concave de 4 à 5 mm de rayon de courbure. Cette cathode est d'un diamètre un peu plus faible que celui du tube, de manière à laisser aussi peu d'espace que possible sur son pourtour. La lame inclinée à 45°, qui forme l'anticathode, n'est distante de la cathode que de 7 à 8 mm. Enfin juste vis-à-vis de la lame focus, et seulement du côté utile de cette lame, la paroi du tube est soufflée en une ampoule hémisphérique très petite, et d'une épaisseur de $\frac{1}{10}$ de millimètre. Grâce à cette faible épaisseur, elle laisse passer facilement les rayons produits sur le focus.

Cet appareil a donné d'excellents résultats. Des photographies d'une netteté irréprochable ont été obtenues par l'auteur avec des temps de pose qui n'ont pas, en général, dépassé une minute. La bobine employée était de petit modèle (26 cm de longueur).

Avec une bobine de grandes dimensions, il a obtenu des épreuves détaillées du squelette des doigts en une seconde et même des épreuves instantanées avec des durées de pose comparables au millième de seconde. Citons, en particulier, parmi ces épreuves, celles du squelette d'une couleuvre, d'une grenouille, de plusieurs lézards, dans lesquelles la délicatesse des détails obtenus ne peut être comparée qu'à celle que fournirait, avec la photo-

graphie ordinaire l'emploi d'un excellent objectif.

Grâce à cette finesse de détails, M. Colardeau a pu aborder avec succès la réalisation d'épreuves stéréoscopiques. Il termine sa communication en faisant examiner, par les membres de la Société, quelques-unes de ces épreuves qui apparaissent avec un relief saisissant.

M. *N. Oumoff* fait une très intéressante communication « Sur l'interprétation géométrique des intégrales de Fresnel. »

Si l'on pose

$$\frac{\pi}{2} z^2 = v, \qquad (1)$$

les intégrales de Fresnel,

$$A = \int_0^z \cos\frac{\pi}{2} z^2 \, dz \quad \text{et} \quad B = \int_0^z \sin\frac{\pi}{2} z^2 \, dz,$$

deviennent respectivement

$$A = \int_0^z \cos v \, dz \quad \text{et} \quad B = \int_0^z \sin v \, dz.$$

Prenons pour axe des z une droite verticale et pour axe des v une horizontale dirigée vers la gauche; l'équation (1) sera représentée dans ce système de coordonnées par une parabole ayant son sommet à l'origine et ses branches dirigées vers la gauche. Enroulons, dans le sens des aiguilles d'une montre, la partie supérieure de cette parabole sur un cylindre circulaire vertical de rayon égal à l'unité; nous obtiendrons une sorte d'hélice. Projetons alors cette courbe sur deux plans de coordonnées rectangulaires zx et zy passant tous deux par l'axe du cylindre, le premier passant en outre par le point de la surface cylindrique où a été appliqué le sommet de la parabole. Nous aurons ainsi deux courbes ayant respectivement pour abscisses

$$x = \cos v, \qquad y = \sin v,$$

et les intégrales de Fresnel pourront s'écrire

$$A = \int_0^z x \, dz, \qquad B = \int_0^z y \, dz,$$

de sorte que les valeurs de ces intégrales seront respectivement données par la somme des aires limitées par ces courbes et l'axe des z et prises positivement ou négativement suivant que leur position correspond aux directions positives ou négatives des axes x et y. Il en résulte une méthode très commode pour le calcul approché de ces intégrales, calcul que l'auteur a rendu très rapide par la construction d'intégrateurs appropriés.

Dans une seconde communication, M. *Oumoff* expose les résultats de ses recherches expérimentales et théoriques « Sur la formation et écoulement des gouttes dans un champ électrique ou dans un champ magnétique »

Le liquide sécoule sous pression constante d'un flacon de Mariotte dont l'orifice d'écoulement peut être placé à diverses hauteurs dans un champ magnétique produit par un puissant électroaimant de Ruhmkorff muni de pièces polaires tronconiques. La vitesse d'écoulement du liquide est mesurée en comptant le temps qu'emploient 200 gouttes à tomber.

L'écoulement est retardé pour un liquide diamagnétique dans les parties du champ où la direction de la gravité est contraire à la direction dans laquelle décroît la force du champ; il est accéléré lorsque ces deux directions concordent. Ainsi dans le cas de l'eau la durée d'écoulement de 200 gouttes, qui est de 201,4 secondes lorsque l'électroaimant n'est pas excité, est augmentée lorsque l'orifice d'écoulement est placé au dessus de l'axe de l'électroaimant excité et est diminuée lorsque l'orifice d'écoulement est suffisamment abaissé; l'augmentation atteint jusqu'à 16 secondes, la diminution jusqu'à 10,7 secondes.

L'inverse a lieu pour un liquide paramagnétique. Avec une dissolution étendue de perchlorure de fer de densité 1,028, pour laquelle la durée d'écoulement de 200 gouttes est de 239 secondes quand le champ magnétique est nul, l'auteur a observé une diminution de cette durée atteignant jusqu'à 30,4

secondes, et une augmentation allant jusqu'à 47,3 secondes.

L'auteur expose ensuite une théorie qui le conduit a une équation générale de la surface de séparation de deux liquides en tenant compte de l'action du champ magnétique ou électrique et de la tension superficielle. Il en déduit une relation donnant le rapport des valeurs de cette dernière quantité dans le cas d'un champ nul et d'un champ H.

Il fait aussi mention d'une correction à faire dans le calcul de la pression sous laquelle se produit l'écoulement d'un liquide d'un vase de Mariotte.

La séance se termine par une troisième communication de M. Oumoff « Sur les lignes antithermes ».

J. B.

Société de Physique de Londres

Séance du 12 juin 1896

M. *Campbell* fait une communication « Sur la mesure de très puissants et très faibles courants alternatifs. »

L'auteur préconise l'emploi de transformateurs à noyau d'air pour mesurer les forces électromotrices et les intensités qui sont en dehors des limites que peuvent mesurer les instruments. Mais si l'on essaie de mesurer le courant primaire d'un transformateur à noyau d'air par l'observation du voltage du circuit secondaire ouvert, on constate que les résultats trouvés dépendent de la fréquence. Pour surmonter cette difficulté, l'auteur ferme le secondaire sur une très grande inductance ; le courant primaire est alors proportionnel au courant secondaire et ce dernier peut être mesuré par un ampèremètre.

L'auteur a également expérimenté avec des transformateurs à noyau de fer ayant un secondaire de très grande inductance. Dans le cas d'un transformateur annulaire à circuit magnétique fermé et dont la charge sur le secondaire consiste uniquement en une balance de Lord Kelvin de 10 ampères, le rapport entre les courants primaire et secondaire est pratiquement constant. Avec un transformateur à circuit magnétique ouvert, il en est autrement et le rapport des courants primaire et secondaire varie considérablement avec la fréquence.

A propos de cette communication, M. Blakesley fait remarquer que la disposition de l'auteur ne permet de mesurer que *l'intensité* du courant dans le primaire ; il ajoute qu'il a montré antérieurement qu'il est possible de mesurer les courants alternatifs à l'aide de dynamomètres et sans avoir recours à un appareil spécial.

M. *Griffiths* présente à la Société et décrit une nouvelle forme de boîte de résistances.

Cette boîte présente plusieurs particularités : 1° Elle permet de comparer toutes les bobines qui la composent avec l'une quelconque d'entre elles sans exiger l'emploi de résistances étalons et cette comparaison s'effectue avec une très grande facilité ; 2° le fil du pont peut être calibré au moyen de la boîte elle-même ; 3° la température des bobines peut être déterminée aisément, ces bobines étant formées d'un fil d'alliage platine-argent enroulé sur une monture de mica et plongé dans un bain d'huile continuellement agité ; 4° la résistance des conducteurs de liaison de la boîte à la résistance à mesurer se trouve éliminée, de sorte qu'il ne peut résulter d'erreur d'un changement de résistance des conducteurs par suite d'une variation de température ; 5° les bobines sont disposées suivant une double échelle et, d'après l'auteur, il est possible de mesurer une résistance allant jusqu'à 105 ohms à 0,000 001 d'ohm près ; 6° toutes les bobines, après avoir été ajustées, sont chauffées un peu au-dessous du rouge et refroidies lentement de manière à faire disparaître toute déformation du métal du fil ; 7° l'emploi d'une paire de plots pour chaque cheville évite l'inconvénient de modifier la pression d'une cheville par l'insertion d'une cheville voisine ; en outre aucune partie des chevilles n'est plus large que le trou

d'insertion de sorte que l'on évite la formation d'un « épaulement » par l'usure.

Le professeur Gray fait remarquer que M. Griffiths a éliminé tous les points faibles de la forme ordinaire des ponts. Il rappelle que Lord Kelvin avait recommandé de recouvrir de paraffine fondue les bobines des boîtes de résistance et qu'il a été reconnu que la résistance de ces bobines s'altérait considérablement, sans doute à cause de la pression à laquelle se trouve soumis le fil entouré de paraffine solide ; Lord Kelvin a construit ensuite ses bobines sans paraffine ; de plus il a toujours été satisfait de l'emploi de l'échelle double.

Le professeur S. P. Thompson dit que c'est précisément l'emploi de cette double échelle qu'il considère comme le point faible de la disposition de l'auteur car il ne permet pas d'employer d'autres rapports que celui de 1 à 1 entre les résistances de deux des branches du pont.

M. Campbell demande quelle intensité de courant on peut, sans inconvénient, faire circuler dans les bobines.

Dans sa réponse l'auteur dit qu'à son avis l'emploi d'un rapport autre que celui de 1 à 1 présente des inconvénients.

Le professeur *S. P. Thompson* fait une communication « sur les rayons de Roentgen. »

L'auteur, après avoir décrit les différentes formes de tubes qu'il a employés dans le but de trouver celle qui donne les meilleurs résultats au point de vue de la production des rayons de Roentgen, expose les expériences qu'il a faites pour déceler la polarisation de ces rayons. Il a essayé dans ce but un très grand nombre de cristaux, mais tous ces essais ont donné des résultats négatifs.

L'auteur présente un électroscope à feuille d'aluminium placé à l'intérieur d'un écran en toile métallique et au moyen duquel il montre la décharge sous l'influence des rayons X des corps électrisés positivement et négativement.

Il indique ensuite une méthode pour l'obtention des figures de Lichtenberg sous l'influence des rayons de Roentgen et montre quelques uns des résultats qu'il a obtenus ainsi.

Les essais qu'il a tentés pour observer une véritable réflexion des rayons X ont tous échoué, bien qu'il paraisse que plusieurs substances, l'air en particulier, sont capables de donner lieu à la réflexion diffuse.

A la suite de cette communication plusieurs membres de la Société prennent la parole.

Le docteur Shettle, qui devait faire aussi une communication sur les rayons de Roentgen, déclare qu'il s'est aperçu que les phénomènes qu'il se proposait de décrire étaient dus à de la lumière rouge qui avait pénétré dans sa chambre noire.

Le professeur du Bois rappelle que Galitzine a trouvé que les rayons de Roentgen sont polarisés par la tourmaline. Il ajoute que la façon dont la tourmaline se comporte vis-à-vis de la lumière est des plus curieuses, car si la longueur d'onde de la lumière croît, il arrive un moment où les rayons ordinaire et extraordinaire sont également absorbés, et si la longueur d'onde croît encore les phénomènes que présente ordinairement la tourmaline sont renversés. Il en conclut que si les rayons de Roentgen ne sont pas homogènes les résultats contradictoires obtenus par divers expérimentateurs peuvent être dus à ce qu'ils opéraient avec des rayons très différemment absorbés par la tourmaline.

M. Swinton dit qu'il a étudié les effets résultant d'un échauffement de la cathode et qu'il a observé des résultats semblables à ceux de l'auteur. Il ajoute qu'il a constaté que la luminescence bleue que l'on observe quelquefois dépend de la grandeur de la cathode; avec une cathode hémisphérique il était impossible de faire disparaître cette luminescence bleue.

Le professeur Gray annonce qu'il a obtenu quelques indications, encore mal définies, d'une réflexion régulière des rayons X.

Dans sa réponse l'auteur dit qu'il a été constaté que les rayons de Roentgen sont réfléchis par la surface du sodium dans le vide, la quan-

tité réfléchie étant minimum pour l'incidence normale et augmentant avec l'angle d'incidence. La comparaison de ces résultats avec ceux qui ont été obtenus avec la lumière ultra-violette, confirme cette idée que les rayons de Roentgen sont dûs à des vibrations transversales.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Alger. — Traction. — A propos des tramways électriques d'Alger dont nous avons déjà parlé, alors qu'ils n'étaient qu'à l'état de projet (Voir *Éclairage Électrique*, t. V, p. 136, 19 octobre 1895) nous apprenons que les travaux de pose et d'installation des voies, câbles et accessoires sont déjà avancés.

La Compagnie Thomson-Houston a l'intention d'employer pour ces tramways le même système que celui qu'elle a installé pour les tramways électriques de Rouen.

La voie est en rails Broca de 44 kil. par mètre, à l'écartement de 1,43 m.

La ligne aérienne est constituée par un fil de cuivre dur de 8,25 mm de diamètre, suspendu axialement au-dessus des voies par des fils d'acier transversaux amarrés à des poteaux métalliques, d'une hauteur de 7 mètres environ.

Les voitures sont à double plate-forme à marchepied latéral. L'intérieur est divisé en deux classes par une porte à coulisse.

Ces voitures contiennent 24 places d'intérieur et 16 de plate-forme.

Leur équipement se compose du trôlet, de sa perche et de sa base, du contrôleur, des résistances additionnelles, des coupe-circuits, des paratoudres, des lampes et des câbles.

Les moteurs sont au nombre de deux par voiture, ils sont complètement enfermés dans une boîte en acier coulé.

Angers. — Traction. — A la suite des essais concluants qui ont eu lieu, la Compagnie des tramways électriques d'Angers a décidé que la mise en exploitation du réseau Sulembain commencerait à partir du 21 mai 1896.

Bordeaux-Pessac. — Traction. — L'inauguration du tramway électrique de la ligne Bordeaux-Pessac qui, comme nous l'annoncions dans notre numéro du 2 mai 1896, p. 236, devait avoir lieu dans les premiers jours de mai, est encore remise en raison du retard apporté par la municipalité de Bordeaux à une demande de concession d'eau nécessaire à l'exploitation. On se souvient, en effet, que le puits artésien qui a été foré à 150 mètres de profondeur ne peut suffire à la consommation de la station génératrice.

Les travaux sont presque entièrement terminés. La voie, sur un des côtés de la route de Bordeaux à Arcachon, a une longueur de 4 kilomètres environ ; elle est pourvue de distance en distance de voies de garage pour les croisements.

La tête de ligne se trouve à l'entrée du boulevard de Valence et, pour le moment, se termine à hauteur de la place de l'église à Pessac. Sur tout le parcours, la ligne aérienne est posée dans les mêmes conditions que pour la ligne Bordeaux-Eysines ; le système est d'ailleurs le même.

Les voitures motrices, au nombre de 10, ont été construites par la Société Dyle et Bacalan. Très confortables et admirablement suspendues, elles pourront effectuer le transport de 44 voyageurs chacune.

Les bâtiments de la Société, situés à environ 1 km du boulevard comprennent le hall de garage pouvant contenir 20 voitures, deux fosses pour la visite des trucks et la salle des machines. Cette dernière possède trois moteurs à vapeur, dont deux jumellés d'une puissance de 400 chevaux, le troisième de 200 chevaux. L'énergie électrique sera fournie par trois dynamos à courants continus, système Thomson-Houston, dont deux de 180 ampères sous 500 volts marcheront à 650 tours par minute, et la troisième de 200 ampères sous 500 volts à la vitesse de 125 tours.

La Société du tramway électrique projette d'établir une ligne circulaire devant desservir Pessac, l'Alouette, Gradignan, Leognan, Talence, et aboutir au point de départ en suivant le boulevard de Talence. Déjà la création d'une ligne entre Talence et Gradignan est résolue ; la demande de concession est faite. La ligne suivant la route nationale, les plans et projets d'exécution ont été envoyés directement à Paris pour être soumis à l'approbation ministérielle.

On espère que l'autorisation sera accordée avant peu.

Chabeuil (Drôme). — Éclairage. — Nous apprenons que la municipalité de Chabeuil vient de

prendre une décision définitive tendant à remplacer tout le système antérieur d'éclairage au gaz, pétrole, etc. par l'éclairage électrique. Une concession a été accordée à une société d'électricité, laquelle s'engage à mener rapidement les travaux d'installation afin que l'inauguration pût avoir lieu avant l'automne.

Châlons-sur-Marne. — Traction. — Les travaux d'installation des tramways électriques dont nous avons parlé lors de l'adoption du projet et de la pose des premiers rails dans notre numéro du 16 mai 1896, t. VII, p. 330, sont activement poursuivis. M. Cauderay, le concessionnaire a, remis à la municipalité de Châlons le traité concernant la cession de terrain consentie par la ville pour l'installation de l'usine électrique ainsi que les plans de l'établissement.

Voici en résumé les points les plus importants de ce traité :

Article premier. — En exécution de l'article 8 de la convention intervenue le 10 février dernier, entre la ville et M. Cauderay, pour la rétrocession au profit de ce dernier de la cession d'un réseau de tramways à traction électrique, M. Bourdon, en sa qualité de maire de Châlons, accorde à M. Cauderay, pour la même durée que celle de la concession, la jouissance gratuite d'un terrain appartenant à la ville, sis à Châlons, boulevard de la Marne, d'une contenance approximative de 3 085 mètres carrés.

Art. 2. — Le terrain servira à M Cauderay ou à ses ayants droit pour l'établissement et l'édification de l'usine de production d'électricité et de remise aux voitures destinées au service des tramways, sans préjudice des emplacements promis pour les autres branches et nécessités du service du réseau, dans la limite des exigences de la circulation, ainsi qu'il est expliqué à l'article 18 du traité de rétrocessions.

Art. 3. — M. Cauderay entrera en jouissance du terrain dont il s'agit aussitôt l'approbation de la présente par la ville.

Art. 4. — La ville pourra disposer à son gré de la partie du terrain à réserver pour le développement futur de l'usine centrale, d'une contenance approximative de 1279 mètres, jusqu'au moment où M. Cauderay justifiera que cette partie de terrain est nécessaire à son exploitation des tramways.

Art. 5. — En conséquence de la gratuité de son occupation, M. Cauderay n'aura à supporter aucun impôt, charge ou servitude, de quelque nature que ce soit, relativement audit terrain.

Le traité a été approuvé en entier par le Conseil Municipal.

Merdrignac (Côtes-du-Nord). — Éclairage. — L'éclairage électrique de cette ville fonctionne déjà depuis une quinzaine de jours ; les habitants sont entièrement satisfaits de leur nouvel éclairage et sont loin de regretter d'avoir souscrit pour les besoins de l'installation qui, du reste, marche à souhait et fait espérer une parfaite réussite.

Meximieux.— Éclairage.— A plusieurs reprises nous avons annoncé (Voir *Écl. Élect.* t. VII, p. 237, 2 mai 1896) que plusieurs tentatives avaient été faites dans le but de créer une station centrale destinée à produire l'énergie électrique nécessaire à l'éclairage de la ville et au transport de force motrice.

Nous apprenons que le Conseil d'administration de la Société organisée à cet effet, d'accord en cela avec la municipalité, a enfin abouti ; l'achat du terrain, choisi à l'angle du chemin de Borel et de celui de l'Aubépin pour l'installation de l'usine, est fait, des conventions avec M. Lafont électricien à Montalieu, ont été signées, et les emplacements des lampes électriques pour l'éclairage des rues et des places sont désignés.

C'est au moyen du gaz pauvre que l'installation doit avoir lieu ; le bureau de la Société a choisi ce système, après s'être rendu compte de ce bon fonctionnement dans plusieurs communes de l'Isère. Indépendamment des commerçants et industriels dont le concours est acquis, la ville a fixé la quantité de ses lampes ; elle en prend 60, à répartir dans la ville, les divers hameaux, bâtiments publics et écoles.

On n'attend plus que l'approbation préfectorale pour commencer les travaux qui seront terminés, croit-on le 15 août prochain.

Nolay (Côte-d'Or). — Éclairage. — Le Conseil municipal de la petite ville de Nolay vient d'adopter l'éclairage électrique des rues et bâtiments communaux. Les travaux d'installation sont déjà commencés. Un délai de trois mois est accordé à la Compagnie concessionnaire pour l'achèvement de ces travaux et l'inauguration est prévue pour le 6 septembre, jour de la fête locale.

Saint-Colombe (*Rhône*). — *Éclairage*. — On nous annonce que les travaux d'installation de l'éclairage électrique de Saint-Colombe sont terminés. Les essais viennent d'être faits et ont donné d'excellents résultats. Les habitants de cette petite ville sont enchantés de leur nouvel éclairage et se proposent de fêter dignement l'inauguration qui aura lieu prochainement.

Saint-Symphorien (*Indre-et-Loire*).—*Traction*.— Le maire, dans la séance du 10 avril, a donné lecture au conseil municipal d'une lettre par laquelle M. de Brancion, concessionnaire des tramways électriques de Tours, demande la concession de tramways dans cette ville. La demande a été accueillie très favorablement par le conseil.

DIVERS

Congrès international des Electriciens, de Genève. — Ce Congrès, dont nous parlions dans notre chronique du 18 janvier et du 21 mars 1896, p. 144 et 572, se tiendra du 4 au 9 août prochain.

Nous en publierons le programme détaillé dans notre prochain numéro. Disons toutefois que le texte des communications relatives aux sujets qui seront discutés et que nous avons déjà indiqués doit être envoyé avant le 20 juillet.

A l'occasion de ce Congrès auront lieu une série de fêtes dont le programme est déjà fixé et une excursion en Suisse dont le programme sera adressé dès le 1er juillet à tous les adhérents au Congrès.

Le prix de la carte de fête, donnant droit à participer au Congrès ainsi qu'à toutes les publications du Congrès, est fixé à 20 fr ; les conditions de participation à l'excursion finale seront bientôt publiées.

S'adresser pour renseignements au bureau du Congrès international, Université, Genève.

Le plus grand phare du monde. — M. G. N. Geyde a lu, la semaine dernière, à la réunion des ingénieurs civils d'Angleterre, un mémoire sur les perfectionnements récents apportés à la construction des phares. Il a fait remarquer la tendance qu'ont eu les constructeurs de phares les plus en renom à vouloir diminuer la longueur de l'éclat produit par l'appareil du phare dans une proportion considérale, ce qui aurait une augmentation d'intensité pour conséquence.

L'appareil qu'on est sur le point d'installer au cap Leeuwin (Australie occidentale), donne un éclat d'une durée d'un cinquième de seconde toutes les les cinq secondes.

C'est le phare à huile le plus puissant qui existe dans le monde entier. L'éclat a une puissance qui dépasse 14 500 bougies ; il est produit par une paire de lentilles dioptriques montées sur un appareil rotatif à mercure qui produit un mouvement tournant toutes les dix secondes; chacune des deux lentilles en question a un diamètre de 8 pieds.

La puissance de ces phares à huile est dépassée beaucoup par celle des phares à éclairage électrique. Il en existe plusieurs en France qui ont une puissance éclairante correspondante à 23 millions de bougies.

Il a été récemment établi à Fire Island, à l'entrée du port de New-York un phare éclairé à l'électricité, étudié et construit par une Société française, qui a une puissance éclairante correspondante à 123 millions de bougies. C'est le phare électrique le plus puissant qui existe dans le monde entier.

ERRATA

Dans le compte rendu de la communication faite par M. Bochet à la dernière séance de la Société internationale des Électriciens, le lecteur est prié d'apporter les modifications suivantes :

Page 519, 2e colonne, ligne 27 ; au lieu de la phrase : comme dans le cas précédent les points, etc.,..., lire : la sortie du courant ne produira non plus aucune altération, si les canalisations sont reliées métalliquement au pôle négatif de la source. Dans ces conditions la canalisation électrique et ses supports sont seuls exposés à des avaries par électrolyse.

Page 550, 2e colonne, ligne 1 ; ajouter, de faibles longueurs, après le mot conducteur.

Page 520, 2e colonne, ligne 5 ; remplacer la phrase : « Le calcul des branchements est alors ramené au cas précédent » par la suivante : Pour le calcul des branchements on adopte les densités convenables pour éviter l'échauffement.

TABLE DES MATIÈRES

Appareillage.

Appel téléphonique Smith 32
Commutateur automatique Brokie 595
Commutateur Davy 261
Commutateurs à mercure Dorman et Smith. 31
Commutateur automatique Hopkinson . . . 409
Commutateur Immish et Moy 74
Commutateur Proctor 230
Commutateur de sûreté Rowand 74
Commutateur multiple Siemens et Kingdom 597
Commutateur de mise en train Siemens et Lauckert 229
Commutateur inverseur ou clef d'épreuve Tonking 228
Conducteurs isolés Felten et Guillaume . . 515
Conducteurs aériens pour tramways électriques, de Ferranti 564
Dispositif de graissage 195
Dispositif de mise en marche pour distribution à trois fils 415
Interrupteur à mercure Elieson 167
Jonctions Jeckell 263
Joints Penson pour câbles à haute tension . 317
Paliers Hyatt à rouleaux flexibles 361
Pare étincelles Potter pour hautes tensions. 358
Régulateur de pression W. H. Chapman . 513
Régulateur hydraulique de démarrage Fabius Henrion 472
Régulateur servo-moteur Picard et Pictet . . 197
Régulateur Siemens et Halske pour ascenseurs électriques 189
Sonomètre entretenu électriquement Guerre. 122
Trembleur Gaiffe pour bobines d'induction . 117
Un nouveau frein électrique. — *Frank Ashley*. 419
La plus grande courroie du monde 432
Volant de 68 tonnes en fer lamellaire . . . 318
Le système de filetage pour vis mécaniques établi par la Société d'encouragement 288

Appareils et méthodes de mesure.

Ampèremètre Siemens et Lauckert 517
Appareil à self-induction variable. — *Max Wien* 85
Appareils de mesure Chauvin et Arnoux . . 119
Boussole compensée Siriex 597
Compteur nouveau électrique, système Aron. — *J. Reyval* 351
Compteur Grassot 122
Compteur Hookham 127
Compteurs Schallenberger 314
Compteur chronoélectrique Wirth 311
Electrodynamomètre Siemens et Lauckert. . 127
Galvanomètre réglable Menges 33
Galvanomètre thermique et ampèremètre Gaiffe pour courants de haute fréquence 117

Nouvelle forme de boîte de résistances. — *Griffiths* 602
Perméamètre Helmer. 69
Ponts différentiels Siemens et Halske. . . . 359
Voltmètre électrostatique Crompton 226
Wattmètre universel. — *F. Guilbert*. . . . 391
Deux nouveaux instruments pour la mesure directe de la fréquence des courants alternatifs et pulsatifs. — *Campbell*. 472
Etalonnement d'un voltmètre de 20 000 volts. — *Paul Janet* 80
Les étalons de résistance de la Reichsanstalt. — *M. Lamotte*. 245
Ajustement du pont de Kelvin. — *R. Appleyard* 278
Contrôle des installations électriques. — *A. Monmerqué*. 267
Dispositif pour protéger les appareils de mesure contre les vibrations terrestres. — *W. H. Julius* 42
Protection des appareils de mesure contre les perturbations dues aux tramways électriques. — *O. Froelich* 129
Sur la compensation des forces directrices et la sensibilité du galvanomètre à câdre mobile. — *H. Abraham*. . . 276
Notions élémentaires sur les systèmes oscillants. — *H. Armagnat*. . . . 395, 447
Une modification à la méthode de Mascart pour l'usage de l'électromètre à quadrants. — *Riccardo Arno* . 280, 380
Sur les méthodes de détermination des constantes diélectriques. — *W. Nernst*. 372
Méthode électrométrique pour la détermination des constantes diélectriques. — *J. F. Smale*. 425
Méthode pour mesurer les très hautes résistances. — *Picou* 469
Observations au sujet de la méthode précédente. — *Grosselin*. 518
Sur la mesure de très puissants et très faibles courants alternatifs.— *Campbell*. . 602
Méthode de mesure de la perte d'énergie par hystérésis. — *G. F. Searle*. . . 324
Détermination de l'homogénéité magnétique du fer et de l'acier au moyen de la conductibilité électrique.—*Ebeling*. 230
Nouvelle détermination du rapport *v* entre les unités électrostatiques et électromagnétiques. — *D. Hurmuzescu*. 278
Sur les dimensions des grandeurs électriques et magnétiques. — *Joubin* 597
Sur la question des unités magnétiques. — *A. Blondel* 529
Le système international d'unités électriques en France. 335, 382

Applications mécaniques de l'électricité.

Applications mécaniques de l'électricité. — *G. Richard*. 14, 291
Aiguillage électropneumatique Westinghouse 296
Avertisseur Siemens et Jacob 21
Block-system électrique 301
Cible électrique Schifferdecker 24
Cireur électrique Heinze 19
Dentiste électrique Crowdus 20
Dentiste électrique Wheeler. 21
Embrayage électromagnétique de Bersey . . 22
Embrayages électriques Gorham et Holden. 293
Gouvernail électrique King. 294
Gouvernail électrique Siemens et Grimston. 22
Gouvernail (commande de) 51
Manœuvre électrique à distance, système Savatier, de Lagabbe, Sautter, Harlé et Cie. — *J. Reyval* 49
Manœuvre des tourelles cuirassées. 52
Mise en train Ravenshaw 24
Pavillon tournant d'Atlantic City 18
Perforatrice Bliss. 292
Pompe électrique portative Fabius Henrion. 172
Poinçonneuse-cisaille double Craig et Donald. 291
Poinçonneuse électrique Crooker Wheeler . 18
Tonneau d'arrosage mû par l'électricité. . . 192
Tours alésoirs Crooker Wheeler. 292
Treuil de monte-munitions 50
Régulateur de turbine Libbey 294
Transmetteur d'ordres Bouquet et Lacombe. 24
Application de l'électricité au timbrage des lettres. 240
L'électroaimant comme appareil de levage. — *W. P. Daniel*. 77
L'électricité dans les mines en Amérique . . 430

Applications thermiques de l'électricité.

Réchaud électrique pour puits à pétrole . . 382

Une application nouvelle du chauffage électrique 385
Conversion de l'émeri en corindon. 526
L'électricité dans les fonderies. 574

Bibliographie. — Biographie. — Nécrologie.

Distribution et utilisation de l'énergie électrique, par A. Pérot, *F. Guilbert*. . 45
I. Misuratori di energia elettrica ed il lora controllo nella illuminazione, par Antonio Messina. 45
Zur Mechanik des Vogelfluges, par Fr. Ahlborn 45
Le potentiel thermodynamique et ses applications à la mécanique chimique et à l'étude des phénomènes électriques, par P. Duhem. — *C. Raveau* 87
Leçons sur l'électricité, par Eric Gérard. — *F. Guilbert* 183
Les rayons X et la photographie à travers les corps opaques, par Ch. Ed. Guillaume. 234
Lehrbuch der magnetischen und elektrischen Maasseinheiten, Messmethoden und Messapparate, par Leo Grunmach, 235 et 570
Théorie moléculaire du récepteur Bell, par Bech 235
Les tramways. — Voie et matériel, par Séguela 235
Guide annuaire général des industries : gaz, eaux, électricité 235
Traité d'électricité industrielle, théorique et pratique, par Marcel Deprez. . . . 235
Les transformateurs d'énergie électrique, par P. Dupuy. — *F. Guilbert*. 281
La mécanique générale à l'exposition de Chicago. par G. Richard. — *G. Pellissier*. 328
Les applications mécaniques de l'énergie électrique, par J. Laffargue 380
Report of S. P. Langley, secretary of the Smithsonian Institution for the year ending june 30, 1895. 380
L'acétylène, par J. Reyval 380
Les tramways au point de vue financier en Amérique, par Edwards E. Higgins. — *G. Pellissier*. 426
Les nouveautés électriques, par Julien Lefèvre 476
Les moulins à vent et leurs applications à l'agriculture, par A. Legoux. 477
Die Grundlehren der Elektricitat, par Ph. Hauck. 524
Transformateurs à courants alternatifs, par Gisbert Kapp ; traduction par A. Dubsky et G. Chenet. 524
Courants polyphasés, par Sylvanus Thompson , traduction par E. Boistel. . . 524
Polarisation et optique cristalline, par H. Pellat ; leçons rédigées par Duperray et Galotti 571

Conduction. — Canalisation de l'électricité.

— Résistance des lames métalliques minces. *Edouard Branly* 40
Résistance au contact de deux métaux. — *Edouard Branly* 78
Résistance (Sur la) des conducteurs aux courants alternatifs. — *E. Brylinski*. . 82
Résistance (Sur la) du corps humain. — *A. Monmerqué*. 365
Résistances (Méthode ponr mesurer les très hautes). — *Picou*. 469
Observation à la méthode précédente. — *Grosselin* 518
Résistance (Sur la mesure de la) des joints pour rails de tramways. — *Harold P. Brown*. 517
Sur la mesure de très puissants et très faibles courants alternatifs. — *Campbell* . 602
Conducteurs isolés Pelten et Guillaume . . 515
L'effet Edison. — *J.-A. Fleeming*. 81
Contrôle des installations électriques. — *A. Monmerqué* 267
Notes sur les courants alternatifs. — *Eric Gérard* et *G. Henrard*. 200
Calcul des éléments d'un circuit pour courant alternatif. — *P.-M. Held*. . . 459
Système d'alimentation mixte par courant alternatif et par courant continu, à Brighton. 560
Coefficient de déformation des courbes de courants alternatifs. — *J.-A. Fleming* 564

Cours. — Concours. — Conférences. — Sociétés savantes. — Expositions.

Association britannique pour l'avancement des sciences 189
Association française pour l'avancement des sciences 144
Chambre syndicale des industries électriques :
Réunion du 24 mars 287
Réunion du 14 avril. 333
Réunion du 5 mai. 429
Congrès international de chimie appliquée . 385
Congrès international des Electriciens de Genève 606
Exposition bavaroise d'électricité à Nuremberg. 528
Exposition internationale de moteurs et de leurs applications à Londres. . . 384
Société internationale des électriciens :
Séance du 1er avril 78
Exposition de mai 279
Séance du 20 mai. 469
Séance du 3 juin. 518
Société française de Physique :
L'exposition de Pâques. — *J. Blondin* 68, 113
Séance du 17 avril 174
Séance du 1er mai. 276
Séance du 15 mai. 368
Société de physique de Londres :
Séance du 27 mars 81
Séance du 24 avril 278
Séance du 8 mai. 420
Séance du 22 mai. 471
Société industrielle de Rouen (Concours). . 188
Société d'Encouragement pour l'industrie nationale (Concours) 383
Les voitures automobiles électriques du concours de Chicago. 4

Diélectriques. — Décharge disruptive.

Sur les diélectriques. — *R. Appleyard*. . . 471
Sur l'hystérésis diélectrique visqueuse. — *Riccardo Arno* 407
La viscosité apparente des diélectriques. — *A. Hess*. 450
Sur l'idée de résistance diélectrique. — *P. Drude*. 474
Méthode électrométrique pour la détermination des constantes diélectriques. — *J. Smale*. 425
Sur les méthodes de détermination des constantes diélectriques. — *W. Nernst* 372
Recherches sur les constantes diélectriques des mélanges et des solutions. — *L. Silberstein*. 322
Deux méthodes pour découvrir et étudier les courants dans les circuits métalliques et les courants de déplacement dans les diélectriques. — *Wladimir de Nikolaieve* 256
Les courants de déplacement électrique et l'induction magnétique du fer à l'état variable. — *Wladimir de Nikolaieve* 289
Sur l'abaissement des potentiels explosifs dynamiques par la lumière ultraviolette et l'interprétation de certaines expériences de M. Jaumann. — *R. Swyngedauw* 370

Divers. — Documents.

Le centenaire de la pile de Volta. 48
L'alliance de la General Electric Company et de la Westinghouse Electric and Manufacturing Company. 187
Budget de l'électricité. 192
Historique du terme « cheval-vapeur ». . . 192
L'instruction de l'électricité dans la flotte. . 239
La guerre de nuit 239
Le système international d'unités électriques en France 335, 382
L'électricité et les projectiles 335
L'électroaimant en chirurgie 386
Masse : capacité pour le mouvement. — *Clavenad* 348
Projet d'instruction concernant les appareils électriques. 430
Les exécutions par l'électricité à Ohio . . . 430
Une nouvelle application du phonographe . 432
La plus grande courroie du monde 432
Préparation électrique de la levure. 527
Le tour du monde en 40 jours 574
La production du caoutchouc au Brésil. . . 576
L'électricité aux États-Unis. 576
Le plus grand phare du monde. 606
Errata. 144, 606

Éclairage électrique. — Photométrie.

Sur l'arc électrique. — *L. Arons*. 231

Sur la résistance de l'arc électrique. — *Frith* et *Rogers* 420
L'effet de la forme des ondes sur l'arc à courants alternatifs. — *J. Frith*. . . . 278
L'effet Édison. — *J. A. Fleeming* 81
Les lampes à arc. — *G. Richard*. . . . 212, 536
Lampe Adams 216, 538
Lampe Barrière 218
Lampe Branson 544
Lampe Codd. 538
Lampe Crompton et Pochin. 536
Lampe Davis. 538
Lampe Davy. 213
Lampe de l'Electric Arc C°. 538
Lampe Fisher 541
Lampe Goold 541
Lampe Harthan 219
Lampe Jandus. 212, 542
Lampe Mathiesen 220
Lampe Moody. 544
Lampe Quin et Symmonds 215
Lampe Siemens et Brokie 537
Lampe Rae 221
Projecteur Paterson et Hill 222
Sur l'emploi des lampes à haute tension sur les réseaux de distribution. — *G. L. Addenbrooke*. 272
Durée des lampes à incandescence 187
Emploi du carbure de calcium dans les lampes à incandescence 574
Le carborindon et l'éclairage électrique. . . 190
Eclairage électrique par diffusion du plafond 386
L'éclairage des trains par l'électricité. . 191, 240
Fusil à éclairage électrique 192
L'éclairage électrique au Brésil. 382
Éclairage à combustion complète, système Bandsept 174
Photomètres Mascart. 71
Spectrophotomètre d'Arsonval 72
Diaphragme photométrique Crova. 72
Pupillomètre Charles Henry. 73

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Paris 45, 46, 47 329
Amplepins (Rhône). 236
Angers 236
Attignies (Ardennes) 329
Bordeaux 140
Briançon 330
Caussade 428
Chabeuil 604
Charquemont (Doubs) 330
Château-Chinon 140
Cherbourg 140, 428
Chevenoz 140
Dieppe 236
Dijon. 330
Douai. 236
Draguignan 331
Epernay. 141
Evian-les-Bains (Haute Savoie 237
Eymoutiers (Haute-Vienne). 237
Falaise 141
Fort-de-France. 47
Illiers (Eure-et-Loir) 331
Issoire. 47
Laignes (Côte-d'Or) 428
La Guerche 141
Lille 141
Limoges. 47
Mansle 525
Marennes 331
Merdrignac 605
Meximieux. 237, 605
Moulins. 48, 144
Narbonne 237, 525
Nolay 605
Nontron. 237
Nyons (Drôme) 237
Paimpol. 332
Pontarlier. 238
Ponts-de-Cé. 48
Remiremont. 48
Royan 238
Saint-Astier 238
Saint-Colombe 606
Saint-Malo. 238, 526
Tulle 239
Valence 239
Vence. 333
Versailles 333

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Aberdeen 282
Aubonne. 282
Barcelonne. 477, 571
Bilbao 477
Brighton. 283
Bristol. 283
Bruxelles 89

Cairnbaan 478
Charkoff. 284
Darjeling. 90
Edimbourg. 185
Formose. 90
Genève 90, 185
Kratzau 91
Leadville 478
Londres. 381
Metz. 572
Minas 91
Moscou 285
Munich 572
Pointe-à-Pitre 186
Pozoblanca 91
Prétoria 91
Riverside 382
Saint-Pétersbourg. 91
Schaffouse. 186
Sébastopol 573
Strasbourg. 187
Vallorbe et Vaulion. 286
Venise. 91
Vienne. 91
West-Ham 480
Zug 573
Zurich. 187, 480

Électrobiologie

Nouvelle forme de réaction négative sur la rétine. — *A. Charpentier*. 84
Les exécutions par l'électricité à Ohio . . . 430
Des troubles produits par la fulguration sur l'appareil oculaire. — *Rohmer* . . . 472

Electrodynamique. — Electromagnétisme

Théorie de l'électricité fondée uniquement sur l'expérience et le raisonnement. — *A. Vaschy* 25, 110
Nouvelle détermination du rapport *v* entre les unités électrostatiques et électromagnétiques. — *D. Hurmuzescu*. . 278
Champ magnétique dû à un courant elliptique en un point du plan de l'ellipse et situé à l'intérieur de celle-ci. — *Viriamu Jones* 471
Sur les dimensions des grandeurs électriques et magnétiques. — *Joubin*. 598

Électrolyse. — Électrochimie.

Le traitement électrique des minerais de Broken Hill. — *E. Andréoli*. . 303, 590
Electrochimie appliquée 431
La chaleur spécifique des solutions électrolytiques. 527
La dissolution du charbon par l'électrolyse. 127
Galvanisation électrolytique du fer. — *O. Vogel* 318
La galvanisation électrique des tubes de fer. 191
Electrolyse des minerais de zinc Siemens et Halske. 317
Séparation électrolytique de l'étain des fers-blancs et alliages, procédé Clauss et Sutton. 32
L'électrométallurgie de l'aluminium. — *J. W. Richards*. 464
La fabrique d'aluminium de Foyers. 411
Fabrique d'aluminium de Haflsrund. . . . 91
Alliages colorés d'aluminium 187
Laminage de l'aluminium 190
Cuivrage galvanique de l'aluminium 190
Violons en aluminium 336
Sur la molybdénite et la préparation du molybdène. — *Guichard*. 569
Le carbure de calcium et l'acétylène. — *Ch. Jacquin*. 5, 60
La fabrication du carbure de calcium à Spray. — *E. J. Houston, A. E. Kennelly* et *L. P. Kinnicut* 339
La fabrication du carbure de calcium à l'usine de Froges 8
Fabrique de carbure de calcium à Puteaux . 332
Lampe Trouvé à l'acétylène. 11
Appareil générateur d'acétylène Bullier. . . 13
Four à carbure de calcium Gearing 74
Appareil générateur d'acétylène Wiesneg. . 114
Appareils générateurs d'acétylène Ducretet . 114
Action de l'acétylène sur le fer, le nickel et le cobalt réduits par l'hydrogène. — *Henri Moissan* et *Ch. Moureux* . 568
Le carborindon et l'éclairage électrique . . 190
Préparation industrielle de l'ozone. . . . 336
Electrolyseurs à mercure Kellner 226
Nouvelle fabrique de soude et de potasse à Niagara Falls. 527

Préparation électrique de la levure. 527

Electro optique. — Oscillations électriques. — Rayons Roentgen.

Vérification de la loi de Kerr. — Mesures absolues. — *Jules Lemoine* 320
Sur l'abaissement des potentiels explosifs dynamiques par la lumière ultra-violette et l'interprétation de certaines expériences de M. Jaumann. — *R. Swingedauw* . . . .
Sur les indices de réfraction et le pouvoir réfléchissant de l'eau et de l'alcool pour les ondes électriques. — *A. D. Cole* 86
Double réfraction des rayons électriques. — *K. Mack*. 180
Sur l'interprétation géométrique des intégrales de Fresnel 601
Résonateur du Dr Oudin 118
Déviation électrostatique des rayons cathodiques; réponse à M. H. Poincaré. — *G. Jaumann* 321
Observations au sujet de la communication précédente. — *H. Poincaré*. . . . 322
Sur les rayons cathodiques et la décharge continue à travers les gaz. — *O. Lehmann* 375
Sur une nouvelle espèce de rayons. — *W. C. Roentgen* 354
Sur les rayons Roentgen. — *J. J. Taudin-Chabot* 67
Observations sur les rayons X. — *S. P. Thompson*. 131, 175, 603
Expériences sur les rayons de Roentgen. — *Oliver Lodge* 549
Observations sur les rayons X. — *Chappuis*. 175
Origine des rayons de Roentgen. — *Jean Perrin* 177
Nouvelle forme de tube de Crookes permettant d'obtenir, avec les rayons X, des photographies d'une grande netteté. — *Colardeau* 176
Sur l'action mécanique émanant des tubes de Crookes. — *J. R. Rydberg*. . . 177
Sur un moyen de communiquer aux rayons de Roentgen la propriété d'être déviés par l'aimant. — *A. Lafay* . . . 133
Sur les rayons de Roentgen électrisés. — *A. Lafay* 134
Sur la pénétration des gaz dans les parois de verre des tubes de Crookes. — *Gouy*. 135
La diffraction des rayons X. — *D. Bungetziano* 165
Sur la réfraction des rayons X. — *Gouy*. . . 567
Mécanisme de la décharge des corps électrisés par les rayons de Roentgen. — *Jean Perrin*. 545
Recherches concernant les propriétés des rayons X. — *Prince B. Galitzine* et *A. de Karnojitzky* 178
Images électriques dans le champ d'un tube de Hittorf. — *Oumoff* et *Samoïloff*. 598
Sur la relation entre le maximum de production des rayons X, le degré de vide et la forme du tube. — *Chabaud* et *Hurmuzescu* 599
Nouveau dispositif de tube de Cookes donnant, avec de courtes poses, une grande netteté d'images — *E. Colardeau*. 600
Sur la réduction du temps de pose dans les photographies de Roentgen. — *Georges Meslins* 179
Réduction du temps de pose dans les radiographies par l'emploi de champs magnétiques non uniformes. — *G. Meslins*. 422
Sur une action électrochimique des rayons de Roentgen sur le bromure d'argent. — *Franz Streinitz* 281
Sur l'action photographique des rayons X. — *Ch. Maurain* 549
Photographie par les ondes électriques. — *J. Robin* et *A. Perret*. 422
Magnétographies produites par les radiations des pôles d'un aimant. — *John S. Mc Kay*. 322
Photométrie du sulfure de zinc excité par les rayons cathodiques dans l'ampoule de Crookes. — *Charles Henry* et *Gaston Séguy* 568

Électrostatique.

Théorie de l'électricité fondée uniquement sur l'expérience et sur le raisonnement. — *A Vaschy*. . . . . . . 25, 110.

Sur les différences électriques entre les métaux et les liquides. — *G. Meyer.* . 41
Recherches expérimentales sur l'origine de l'électricité de frottement. — *C. Christiansen*. 136
Recherches expérimentales sur l'origine de l'électricité de contact. — *C. Christiansen* 138
Deux méthodes pour découvrir et étudier les courants dans les circuits métalliques et les courants de déplacements dans les diélectriques. – *Wladimir de Nikolaieve* 256
Nouvelle détermination du rapport *v* entre les unités électrostatiques et électromagnétiques. — *D. Hurmuzescu*. . 278
Les courants de déplacement électrique et l'induction magnétique du fer à l'état variable.— *W. de Nikolaieve* . . 289
Sur les dimensions des grandeurs électriques et magnétiques. — *Joubin* 598
Sur la formation et l'écoulement des gouttes dans un champ électrique ou dans un champ magnétique. — *Oumoff*. 601

Génération de transformation de l'énergie électrique.

Recherches expérimentales sur l'origine de l'électricité de frottement. – *C. Christiansen*. 136
Recherches expérimentales sur l'origine de l'électricité de contact 138
Une curieuse pile à écoulement.- *R.-W. Hill* 35
Méthode du Dr Jacques pour obtenir l'électricité directement du charbon 172, 595
Accumulateurs Boese. — *J. Reyval* 308
Accumulateurs Faure et King 262
Progrès dans la théorie et dans la construction des batteries secondaires. —*F. Zacharias*. 319
Dynamo Cail-Helmer 69
Les dynamos. —*E. Boistel*. 152
Machines de Ferranti. 152
Alternomoteur Mordey. 153
Alternateur Kingdon 154
Dynamo et électromoteur Parker 155
Alternomoteur Clark. 15
Dynamos à hélices concentriques. —*A. Berthier*. 157, 250
Transformateurs Ferranti. 359
Sur le rôle du noyau de fer doux de l'induit dans les machines dynamo-électriques. — *Marcel Deprez*. . . . 368, 521
Sur le rôle du noyau de fer dans les machines dynamo-électriques.—*A. Potier* 472
La théorie générale du transformateur de M. Steinmetz. — *F. Guilbert*. 96
Réaction de l'armature dans un alternateur à courants monophasés. — *W.-G. Rhodes*. 325
Moteur cuirassé Sayers. 363
Comparaison entre les moteurs électriques et les moteurs à gaz de faible puissance. — *A. Soubeyran*. 463
Statistique des stations centrales en Allemagne. 414
Le secteur électrique de la rive gauche. — *Laffargue* 520

Induction.

Théorie de l'électricité fondée uniquement sur l'expérience et le raisonnement. *A. Vaschy*. 25, 110
Sur les lois de l'induction ; réponse à M. Marcel Deprez. — *A. Potier*. . . . 523

Magnétisme.

Sur l'énergie dissipée dans l'aimantation. — *Ch. Maurain*. 43
Détermination de l'homogénéité magnétique du fer et de l'acier, au moyen de la conductibilité électrique. —*A. Ebeling*. 230
Les courants de déplacement électrique et l'induction magnétique du fer à l'état variable. — *W. de Nikolaieve* . 289
Magnétographies produites par les radiations des pôles d'un aimant. — *John S. Mc Kay* 322
Méthode de mesure de la perte d'énergie par hystérésis. — *G.-F. Searle*. 324
Recherches sur l'aimantation de la magnétite cristallisée. — *Pierre Weiss*. . 487

Sur les dimensions des grandeurs électriques et magnétiques. — *Joubin* 598
Sur la question des unités magnétiques. — *A. Blondel* 529
De la torsion magnétique des fils de fer doux. — *G. Moreau*. 565
Sur la formation et l'écoulement des gouttes dans un champ électrique ou dans un champ magnétique. — *Oumoff*. 601
Sur l'action extérieure d'un ellipsoïde de révolution aimanté uniformément. - *H. Nagaoka*. 569

Météorologie électrique.

L'influence des forêts sur les orages. 182
Contribution à l'étude des courants telluriques. — *L. Palmieri*. 442

Moteurs électriques, à vapeur, thermiques et hydrauliques.

Alternomoteur Mordey. 153
Electromoteur Parker. 155
Alternomoteur Clark. 156
Moteurs cuirassés Sayers 363
Comparaison entre les moteurs électriques et les moteurs à gaz de faible puissance. — *A. Soubeyran*. 463
Machine à rotation rapide de M. Raworth. . 75
Note sur la vapeur surchauffée. 263
Installation d'un moteur à gaz pauvre pour l'éclairage électrique du collège Stanislas, à Paris 562
Les moteurs de tramways à ammoniaque. . . 575
Quelques mots sur les turbines américaines. — *G. Rodmer*. 160

Télégraphie. — Téléphonie. — Chronographie.— Horloges électriques. — Signaux.

Les câbles sous-marins de l'Océan Indien. . 189
Le « Signal-Corps » aux Etats-Unis. 191
Le câble télégraphique de l'Amazone 382
Recorder photolégraphique Ader 594
Les poteaux télégraphiques. 385
La téléphonie à grande distance au moyen de l'induction multiple. — *Claudio Baradat*. 102
Les systèmes téléphoniques de M. Baradat. — *A. Hess*. 107
Service de nuit automatique des bureaux centraux téléphoniques. — *H. Zielinski*. 124
La téléphonie en Danemark. 386
Le téléphone en tramway. 528
Appel téléphonique Smith. 32
Microphone Cerpaux et de l'Escaille. 228
Expériences avec un nouveau photochronographe polarisant, appliqué à la mesure de la vitesse des projectiles. — *A. C. Crehore* et *G. O. Squier*. . . . 173
Compteur chronoélectrique Wirth. 311
Une nouvelle application du phonographe. . 432
Sur l'entretien du pendule sans perturbations. — *G. Lippmann*. 37

Traction électrique.

La traction électrique par courants polyphasés ; les tramways de Lugano. — *J. L. Routin*. 481
Sur la possibilité d'appliquer les courants alternatifs aux tramways électriques. — *E.-J. Houston* et *A.-E. Kennelly* 362
L'emploi des condensateurs sur les tramways électriques 239
Procédé pour amoindrir les courants de terre des tramways électriques.— *G.Kapp* 36
Sur les moyens de diminuer les fuites de courant dans le sol, dues aux tramways électriques avec retour par les rails. — *P. Lauriol* 241
Précautions à prendre pour éviter les troubles dûs au courant de retour des tramways. — *Potier*. 470
Remarques à propos de la communication précédente. — *Bochet*. 519
Sur la mesure de la résistance des joints pour rails de tramways.- *Harold P. Brown* 517
Protection des appareils de mesure contre les perturbations dues aux tramways électriques. — *O. Frœlich*. . . 129

Résultats d'essais sur une ligne de tramways électriques desservie par 10 voitures. — *J.-F. Vaughan* 464
Un nouveau frein électrique.— *Frank Ashley* 419
Conducteurs aériens pour tramways électriques de Ferranti. 564
Tramway électrique de la place de la République à Romainville. — *Ch. Jacquin*. 222, 433, 552 577
La traction électrique sur la ligne du chemin de fer de Baltimore and Ohio. — *Lee H. Parker*. 415
La traction électrique à Hambourg 34
La traction électrique au Japon. 188
La traction électrique dans les Alpes. 528
La traction électrique au pont de Brooklyn. . 457
Les tramways de Berlin. 575
Les tramways électriques de Rouen 168
Statistique des tramways électriques en Europe 264
Le développement de la traction électrique et son état actuel en Amérique. . . 452
Les tramways électriques et les arpenteurs . 239
Les moyens de transport dans les grandes villes 335
Les voitures automobiles électriques du concours de Chicago 431
Tramways électriques à grande distance . . 432
Le chemin de fer élevé de Liverpool. 432
La locomotive Heillmann en Amérique . . . 432
Les exploits d'un funiculaire américain . . . 528

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Paris. 47, 139, 235, 329, 524
Alger 604
Aix. 47
Angers. 139, 604
Ardes-sur-Couze 140
Besançon. 236
Bordeaux-Carmasac 236
Bordeaux-Pessac 236, 604
Bourges 330
Cannes. 47
Châlons-sur-Marne. 330, 605
Chalons-sur-Saône 47
Dijon 330
Le Havre. 141 142
Limoges. 428
Le Mans. 330
Le Puy 47
Lyon. 143
Nevers 144
Oran. 332
Périgueux. 238
Poitiers. 526
Pontivy 526
Rouen 48
Saint-Etienne 238
Saint-Nazaire 238
Saint-Simphorien 606
Tours. 238
Tulle 239
Versailles. 48

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Aubonne 282
Bâle. 283
Baltimore 283, 477
Barcelone 571
Berlin 185, 283, 380
Bristol 380
Bruxelles 89, 283
Budapesth 284, 380
Cagliari. 90
Carthage et Carteville 90
Chicago. 478
Dublin 90
Genève. 284
Kiel 478
Kingston 571
Laporte 285
Liège. 186
Londres. 186, 285, 381
Meckenbeuren-Tettnang 571
Merselurg. 381
Mexico 381
Milan. 479
Minas. 91
New Castle 479
New York. 285
Nürnberg 381
Oakland 381
Prague 186
Rome. 91
Sedan. 286
Spandau 186
Stuttgart 286
Téhéran. 572
Washington. 283
Zermatt. 480
Zurich 287

Transmission de l'énergie. — Utilisation des forces naturelles.

L'utilisation des chutes du Niagara. — *G. Pellissier*. 54, 145
La distribution d'énergie électrique à Lyon, par la société lyonnaise des forces motrices du Rhône. — *J.-L. Routin* 193
Transport électrique de force à Romagnano-Sésia. 266
Transmission électrique de Niagara à New-York. 386
Le transport de force Chèvres-Genève. — *C. E. Guye* 385

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Jonage. 143
Neufchâtel. 332

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Bilbao. 477
Bleiberg 89
Cairnbann 478
Capriolo et Ponte san Pietro. 284
Clenezzo. 284
Folsom-Sacramento. 478
Meckenbeuren-Tettnang 571
Mexico. 91
Munich. 572
Niagara-Buffalo. 479
Nicolaieff. 286
Pelzer. 479
Saint-Pétersbourg 91
Silvertown. 286
Vallorbe et Vaulino. 286
Vienne. 573
White-River 382
West-Rand. 480
Zug. 573

TABLE PAR NOMS D'AUTEURS

A

ADER. — Recorder phototélégraphique . . . 594
ABRAHAM (H.). — Sur la compensation des forces directrices et la sensibilité du galvanomètre à cadre mobile 276
ADAMS. — Lampe à arc. 216
ADAMS (T.). — Lampe à arc 538
ADDENBROOKE (G. L.). — De l'emploi des lampes à haute tension sur les réseaux de distribution 272
AHLBORN (FR.). — Zur Mechanik des Vogelfluges (*Bibliog.*). 45
ALLIS COMPANY (E. P.). — Un volant de 68 tonnes en fer lamellaire. 318
ANDRÉOLI (E.). — Le traitement électrique des minerais de Broken Hill. 303, 508, 590
APPLEYARD. — Sur l'ajustement du pont de Kelvin. 276
— Sur les diélectriques. 471
ARON. — Nouveau compteur électrique. . . 351
ARONS (L.). — Sur l'arc électrique 231
ARMAGNAT (H.). - Notions élémentaires sur les systèmes oscillants 395, 447
ARMSTRONG. — Machine hydroélectrique . . 122
ARNO. — Voir *Ferraris*. 515
ARNO (RICCARDO). — Une modification à la méthode de Mascart pour l'usage de l'électromètre à quadrants 280
— Sur l'hystérésis diélectrique visqueuse. 407
ARSONVAL (D'). — Spectrophotomètre différentiel 72
ASHLEY (F. M.). — Un nouveau frein électrique 419

B

BANDSEPT. — Voir *Broca*. 174
BARADAT (C.). — La téléphonie à grande distance au moyen de l'induction multiple 102
BARRIÈRE. — Lampe à arc 218
BECH (M.). — Théorie moléculaire du récepteur Bell (*Bibliog.*) 235
BERTHIER. — Dynamos à hélices concentriques 156, 250
BERSEY (DE). — Embrayage électromagnétique 22
BLISS. — Perforatrice électrique 292
BLONDEL (A.). — Sur la question des unités magnétiques. 529
BLONDIN (J.). — Exposition de la Société française de physique 68, 113
BOCHET. — Méthode pour déterminer la section la plus avantageuse à donner aux câbles conducteurs pour tramways électriques. 519
BOESE. — Accumulateurs. 308
BOISTEL. — Les dynamos. 152
BOUDET et LACOMBE. — Transmetteur d'ordres. 24
BOVERI. — Voir *Brown* 203
BRANLY. — Résistance des lames métalliques minces. 40
— Sur la résistance au contact de deux métaux. 78
BRANSON. — Lampe pour projections 544
BROCA. — L'éclairage à combustion complète. 174
BROKIE. — Commutateur automatique. . . . 595
BROWN (HAROLD P.). — Sur la mesure de la résistance des joints pour rails de tramways 517
BROWN ET BOVERI. — Moteurs polyphasés . . 203
BROKIE. — Voir *Siemens* 537
BRYLINSKI (E.). — Sur la résistance des conducteurs aux courants alternatifs . . 82
BULLIER. — Appareil générateur d'acétylène. 13
BUNGETZIANO. — La diffraction des rayons X. 165

C

CAIL-HELMER. — Dynamo 69
CAMPBELL. — Sur la mesure de très puissants et très faibles courants alternatifs. . 602

CERPEAUX et DE L'ESCAILLE. — Microphone . 228
CHABAUD et HURMUZESCU. — Relation entre le maximum de production des rayons X, la forme du tube, et le degré de vide 599
CHAPPUIS. — Voir *Pellat*. 175
CHAPPUIS (JAMES ET HUGUES). — Une condition de maximum de puissance des tubes de Crookes 135
CHAPMAN (W. H.). — Régulateur de pression 513
CHARPENTIER (A.). — Nouvelle forme de réaction négative sur la rétine. 84
CHAUVIN ET ARNOUX. — Système magnétique des voltmètres et ampèremètres apériodiques. 119
CHRISTIANSEN (C.). — Recherches expérimentales sur l'origine de l'électricité de frottement. 136
CLARET-VUILLEUMIER. — Tramways électriques. 223
CLARK. — Alterno-moteur 156
CLAUDOT. — Influence des forêts sur les orages 182
CLAUSS et SUTTON. — Séparation électrolytique de l'étain des fers blancs . . . 32
CLAVENAD. — Masse : capacité pour le mouvement. 348
COEHN (Dr ALFRED). — La dissolution du charbon par l'électrolyse 127
CODD. — Lampe à arc 538
COLARDEAU. — Nouvelle forme de tube de Crookes 176
Nouveau dispositif de tubes de Crookes donnant, avec de courtes durées de pose, une grande netteté d'images. 600
COLE (A. D.). — Sur les indices de réfraction et le pouvoir réfléchissant de l'eau et de l'alcool pour les ondes électriques. 86
CRAIG et DONNALD. — Poinçonneuse électrique à cisaille double 291
CROOKES. — Sur la pénétration des gaz dans les parois de verre des tubes 135
CROKER et WHEELER. - Poinçonneuse électrique 17
— Tour alésoir horizontal 292
CROMPTON et POCHIN. — Lampe à arc 536
CROMPTON. — Voltmètre électrostatique . . 226
CROVA. — Diaphragme photométrique . . . 73
CROWDUS. — Dentiste électrique. 20
CREHORE (A. CUSING) et OWER SQUIER. — Expériences avec un nouveau photonographe polarisant, appliqué à la mesure de la vitesse des projectiles 173

D

DANIEL (W.-P.). — L'électroaimant comme appareil de levage. 77
DAVY. — Lampe à arc 214
— Commutateur 261
DAVIS. — Lampes à arc. 538
DEPREZ (MARCEL). — Traité d'électricité industrielle, théorique et pratique (*Bibliog.*) 235
— Sur le rôle du noyau de fer de l'induit dans les machines dynamo-électriques. 368 521
DONNALD. — (Voir *Craig*) 261
DORMAN et SMITH. — Commutateurs à mercure 31
DUCRETET et LEJEUNE. — Appareil pour la préparation de l'acétylène sous pression réduite 114
— Lampe à acétylène. 116
— Appareil à diaphragme pour l'obtention des radiographies 117
DRUDE (P.). — Sur l'idée de résistance diélectrique. 474
DUPUIS (P.). — Les transformateurs d'énergie électrique (*Bibliog.*). 281
DUHEM (P.). — Le potentiel thermodynamique et ses applications à la mécanique chimique et à l'étude des phénomènes électriques (*Bibliog.*). 87

E

EBELING — Détermination de l'homogénéité magnétique du fer et de l'acier au moyen de la conductibilité électrique. 230
ELECTRIC ARC C°. — Lampe à arc 538
ELIESON. — Interrupteur à mercure. 167

F

FARMAN. — Quelques mots sur les turbines américaines. 160

FAURE et KING. — Accumulateurs 262
FAWCUS (J.). — Les lampes à haut voltage et les inconvénients de leur emploi. . 95
FELTERS et GUILLAUME. — Conducteurs isolés 515
FERRARIS et ARNO.—Distribution polyphasée 514
FERRANTI.— Transformateurs. 359
— Conducteurs aériens pour tramways électriques. 564
FISHER. — Lampe à arc 541
FLEEMING (J.-A.). — Sur l'effet Edison. . . . 81
— Coefficient de déformation des courbes de courants alternatifs 564
FOURNEYRON. — Turbine hydraulique 196
FRITH (J.) et ROGER. — La résistance de l'arc électrique 420
FRITH (J.).— Effets de la forme des ondes sur l'arc à courants alternatifs. 276
FROLICH (O.). — Protection des appareils de mesure contre les perturbations dues aux tramways électriques. 129

G

GAIFFE et Cie. — Appareil pour l'obtention des courants à haute fréquence. . . 117
GALOTTI et DUPERRAY. — Polarisation et optique cristalline, par Pellat (H.). — (*Bibliog.*) 571
GALITZINE (PRINCE B.). — Recherches concernant les propriétés des rayons X. 178
GEARING. — Four à carbure de calcium. . . 74
GÉRARD (ERIC.). — Leçons sur l'électricité (*Bibliog.*) 183
— Notes sur les courants polyphasés. 200
GOOLD.— Lampe à arc. 541
GORHAM et HOLDEN. — Embrayages électriques. 293
GOUY. — Sur la pénétration des gaz dans les parois de verre des tubes de Crookes 135
— Sur la réfraction des rayons X . . . 567
GRASSOT. — Compteur d'électricité 122
GRIFFITHS. — Nouvelle forme de boîte de résistances 602
GRIMSTON.— Gouvernail électrique (Voir *Siemens*) 22
GROSSELIN.—Observation au sujet de la méthode de mesure des grandes résistances 518
GRUNMACH (Dr LÉO). — Lehrbuch der magnetischen und elektrischen Maaseinheiten, Messmethoden und Messapparate (*Bibliog.*). 235, 570
GUERRE.—Dispositif pour entretenir la vibration des timbres 122
GUICHARD (M.). — Sur la molybdénite et la préparation du molybdène 569
GUILBERT (F.).— Wattmètre universel Blondel et Labour 390
— Les transformateurs d'énergie électrique, par P. Dupuis (*Bibliog.*). . 281
— Distribution et utilisation de l'énergie électrique par Perot (*Bibliog.*). 45
— La théorie du transformateur général de M. Steinmetz. 97
— Leçons sur l'électricité, par Eric Gérard (*Bibliog.*). 183
GUILLAUME (CH.-ED.).— Les rayons X et la photographie à travers les corps opaques (*Bibliog.*). 234
— (Voir *Felters*) 515
GUYE (C.-E.).— L'électricité à l'exposition nationale Suisse; le transport de force, Chèvres-Genève 385

H

HARTHAN. — Lampe à arc. 219
HAUCK (W. PH.). — Die Grundlehren der Elektricität. (*Bibliog*). 524
HEINZE. — Cireur électrique 19
HELMER. — Perméamètre de grandes dimensions. 69
HELDT (P.-M.). — Calcul des éléments d'un circuit pour une transmission par courants alternatifs 459
HENRION (FABIUS). — Pompe électrique portative et régulateur hydraulique de démarrage. 172
HENRY (CH.). — Pupillomètre servant à démontrer et à doser l'action propre de la lumière de l'iris 73
HENRY (CH.) et SEGUY (G.). — Photométrie du sulfure de zinc phosphorescent excité par les rayons cathodiques dans l'ampoule de Crookes. 568
HENRARD (GEORGES). — (Voir *Gérard*). . . . 200
HESS. — Les systèmes téléphoniques de M. Baradat. 107
HIGGINS (EDWARD E.). — Les tramways au point de vue financier en Amérique. — (*Bibliog.*) 426
HYATT. — Paliers à rouleaux flexibles. . . . 361
HILL. — (Voir *Patterson*). 222

Hill (R. W.). — Une curieuse pile à écoulement 35
Holden (Voir *Gotham*) 293
Holden. — L'électro-aimant comme appareil de levage 196
Hookam. — Compteur d'électricité 126
Hopkinsòn. — Commutateur automatique . 409
Houston (E.-J.), Kennelly (A.-E.), Kinnicutt (L.-P.). — La fabrication du carbure de calcium à Spray 339
Houston (E.-J.) et Kennelly (A.-E.). — Sur la possibilité d'appliquer les courants alternatifs aux tramways électriques 362
Hurmuszescu. — (Voir *Chabaud*) 599

I J

Immish et Moy. — Commutateur 74
Jacob. — (Voir *Siemens*) 21
Jacques. — Méthode pour obtenir l'électricité directement du charbon 172
Jacquin (Ch.). — Le carbure de calcium et l'acétylène . . . . . 5 et 60
— Tramway électrique de la place de la République à Romainville, 222, 433, 552, 577
P. Janet. — Etalonnement d'un voltmètre de 20 000 volts 80
Jandus. — Lampe à arc 212 542
Jauman (G.). — Déviation électrostatique des rayons cathodiques ; réponse à M. Poincaré 321
Jeckell. — Jonctions pour câbles électriques 262
Joubin. — Sur les dimensions des grandeurs électriques et magnétiques 598
Julius (W.-H.). — Dispositif pour protéger les appareils de mesure contre les vibrations terrestres 42
— Transformateurs à courants alternatifs. — (*Bibliog.*) 524

K

Kapp (G.). — Procédés pour amoindrir les courants de terre des tramways électriques 36
Karnojistzki (A. de). — (Voir *Galitzine*) . . 178
Kellner. — Electrolyseur à mercure 226
Kellog (H.-M.). — Dispositif de mise en marche pour distribution à 3 fils . . 415
Kennelly (A.-E.). (Voir *Houston*) 339
— — — 362
Kingdom. — Alternateurs à réluctance variable 154
— (Voir *Siemens*) 597
King. — (Voir *Faure*) 262
King (F.). — Gouvernail électrique 294
Kinnicutt (L.-P.). — (Voir *Houston*) . . . 339

L

Lacombes. — (Voir *Boudet*) 24
Laffargue (J.) — Les applications mécaniques de l'énergie électrique (*Bibliog*) 380
Lafay (A.). — Sur un moyen de communiquer aux rayons de Roentgen la propriété d'être déviés par l'aimant . . 133
— Sur les rayons de Roentgen électrisés 134
Lagabbe (de). — (Voir *Sautter-Harlé*) 49
Lamotte (M.). — Les étalons de résistance de la Reichsanstalt 245
Lauriol (P.). — Sur les moyens de diminuer les fuites de courant dans le sol, dues aux tramways électriques avec retour par les rails 241
Lauckert. — (Voir *Siemens*) 127
Lefèvre (Julien). — Les nouveautés électriques. — (*Bibliog*) 476
Legoux (A.). — Les moulins à vent et leurs applications à la culture (*Bibliog*) . 477
Lehmann (O.). — Sur les rayons cathodiques et la décharge continue à travers les gaz 375
Lemoine (Jules). - Vérification de la loi de Kerr — Mesures absolues 320
Lequeux. — Gazomètre à acétylène 114
Libbey (W.-S.). — Nouveau régulateur pour turbines hydrauliques 294
Lippmann (G.). — Sur l'entretien du mouvement du pendule sans perturbations 37
Lodge (Oliver). — Expériences sur les rayons de Roentgen 549

M

Mack (K.). — Double réfraction des rayons électriques 180
Mascart — Photomètres 71
Mathiessen. — Lampe à arc 220

MAURAIN (CH.). — Sur l'action photographique des rayons X 549
— Sur l'énergie dans l'aimantation. . . 43
MCKAY (JOHN S.). — Magnétographies produites par les radiations des pôles d'un aimant 322
MENGES.— Galvanomètre réglable. 33
MESLINS (GEORGES). — Sur la réduction du temps de pose dans les photographies de Roentgen. 179
— Photomètre. 116
— Réduction du temps de pose dans les radiographies par l'emploi de champs magnétiques non uniformes 422
MESSINA (ANTONINO).— I Misuratori di energia elettrica (*Bibliog.*). 45
MEYER (G.).—Sur les différences électriques entre les métaux et les liquides. . . 41
MOISSAN (H.). et MOUREUX (CH.). — Action de l'acétylène sur le fer, le nickel et le cobalt réduits par l'hydrogène. . 560
MOLLER. — Fabrication électrique de la levure 527
MONMERQUÉ (A.). — Contrôle des installations électriques. 267
— Sur la résistance du corps humain. 365
MOODY. — Lampe à arc 544
MOREAU (G.). — De la torsion magnétique des fils de fer doux 565
MORDEY.— Alternateur. 153
MOY. — (Voir *Immish*). 74

N

NAGAOKA (H.). — Sur l'action extérieure d'un ellipsoïde de révolution aimanté uniformément 569
NANSOUTY (MAX DE).— (Voir *Claudot*). . . . 182
NERST (W.).— Sur les méthodes de détermination des constantes diélectriques. 372
NICOLAIEVE (WLADIMIR DE).—Deux méthodes pour découvrir et étudier les courants dans les circuits métalliques et les courants de déplacement dans les diélectriques. 256
— Les courants de déplacement électrique et l'induction magnétique du fer 289
NUGUES (E.). — (Voir *Chappuis*) 135

O

OUMOFF. — Sur l'interprétation géométrique des intégrales de Fresnel. 601
— Sur la formation et écoulement des gouttes dans un champ électrique ou dans un champ magnétique. 601
OUMOFF et SAMOÏLOFF. — Images électriques dans le champ d'un tube de Hittorf. 598
OHMULLER. — La stérilisation des eaux par l'ozone 95
OUDIN (Dr). — Résonateur électrique. . . . 118

P

PARKER. — Dynamo et électromoteur. . . . 155
PARKER (LEE. H.). — La traction électrique sur la ligne du chemin de fer de Baltimore and Ohio. 415
PATCHELL (WILLAMS). — Notes sur la vapeur surchauffée. 268
PATTERSON et HILL.— Nouveau projecteur électrique. 222
PELLAT. — Quelques observations sur les rayons X 175
— Polarisation et optique cristaline (*Bibliog.*) 571
PELLISSIER (G.).—L'utilisation des chutes du Niagara. 54
PENSON.— Joints pour câbles à haute tension 317
PERRET (A.).--(Voir *Robin*.). 422
PERRIN (JEAN). — Origine des rayons de Roentgen 177
— Mécanisme de la décharge des corps électrisés par les rayons de Roentgen 545
PÉROT.—Distribution et utilisation de l'énergie électrique (*Bibliog.*). 45
PICARD et PICTET. — Régulateur servo-moteur pour turbines. 197
PICOU. — Les très hautes résistances. 469
PICTET. — (Voir *Picard*) 197
POINCARÉ (H.).— Observations au sujet de la communication de M. Jauman. 322
POTIER (A.). — Quelques observations sur les précautions à prendre pour éviter les troubles dus au courant des tramways 470
— Sur le rôle du noyau de fer dans les machines dynamo-électriques.— Remarques sur la Note de M. Marcel Deprez 472
— Sur les lois de l'induction. Réponse à M. Marcel Deprez 523
POCHIN. — (Voir *Crompton*). 146 536
POTTER. — Pare-étincelles pour hautes tensions. 358

PROCTOR. — Commutateur 230
PRONY. — Frein de démarrage pour électromoteur 204

Q R

QUINT et SIMMONDS. — Lampe à arc 215
RAE. — Lampe à arc 221
RAVENSCHAW. — Mise en train électrique . . 24
RAVEAU (C.). — Le thermodynamique, par Duhem (*Bibliog.*) 87
RAWORTH. — Machine à rotation rapide . . 75
REVUE GAZ, EAU ET ELECTRICITÉ (*Journal*). — Guide annuaire des industries eaux, gaz, et électricité (*Bibliog.*) 235
RHODES (W.-G. — Réaction de l'armature dans un alternateur à courants monophasés 325
RICHARD (G.). — Applications mécaniques de l'électricité 14 291
— Les lampes à arc 212 536
— La mécanique générale américaine à l'Exposition de Chicago (*Blibliog.*) 328
RICHARDS (J.-W.). — L'électrométallurgie de l'aluminium 464
ROBIN (J.) et PERRET (A.). — Photographies par les ondes électriques 422
ROGERS (Voir *Frith*) 420
ROHMER. — Des troubles produits par la fulguration sur l'appareil oculaire . . . 472
ROENTGEN (W.-C.). — Sur une nouvelle espèce de rayons 354
ROWAND. — Commutateur automatique de sûreté 74
ROUTIN (J.-L.). — La distribution d'énergie électrique, à Lyon 193
— La traction électrique par courants polyphasés; les tramways de Lugano 481
RYDBERG (J.-R.). — Sur l'action mécanique émanant des tubes de Crookes . . . 177

S

SAMOILOFF. — (Voir *Oumoff*) 598
SAUTTER, HARLÉ ET C°. — Manœuvre électrique à distance. Treuil de monte-munitions. Commande de gouvernail. Commutateur à relai. Tourelles cuirassées 49
SAVATIER. — Voir *Sautter-Harlé* 49
SAYERS. — Moteur cuirassé 363
SEARLE (G. F.). — Méthode de mesure de la perte d'énergie par hystérésis 324
SÉGUELA (R.). — Les tramways. Voies et matériel (*Bibliog.*) 235
SHALLENBERGER. — Compteur d'électricité . . 314
SHIFFERDECKER. — Cible électrique 24
SIEMENS et BROKIE. — Lampe à arc 537
SIEMENS et JACOB. — Avertisseur électrique. 21
SIEMENS et GRIMSTON. — Gouvernail électrique 22
— Ampèremètre 517
SIEMENS et KINGDOM. — Commutateur multiple 597
SIEMENS et LAUCKERT. — Electrodynamomètre 127
SIEMENS et HALSKE. — Commutateur de mise en train 229
— Electrolyse des minerais de zinc . . 317
— Ponts différentiels 359
SILBERSTEIN (L.). — Recherches sur les constantes diélectriques des mélanges et des solutions 232
SIRIEX. — Boussole compensée 597
SMALE (J. F.). — Modification à la méthode électrométrique pour la détermination des constantes diélectriques . . 425
SMITH. — Voir *Dorman* 31
— Appel téléphonique 32
SOCIÉTÉ ÉLECTROMÉTALLURGIQUE FRANÇAISE. — Fabrication du carbure de calcium . 8
SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT. — Le système de filetage pour vis mécaniques 288
SQUIER (OWEN G.). — Voir *Crehore* 173
SOUBEYRAN (A.). — Comparaison entre les moteurs électriques et les moteurs à gaz de faible puissance 462
STEINMETZ. — La théorie du transformateur général 97
STREINITZ (FRANZ). — Sur une action électrochimique des rayons de Roentgen sur le bromure d'argent 281
SUTTON — Voir *Clauss* 32
SYNGEDAUW (M. R.). — Sur l'abaissement des potentiels explosifs dynamiques par la lumière extra-violette et l'interprétation de certaines expériences de M. Jaumann 370
SYMMONDS. — Voir *Quint* 215

T

TAMMANN (G.). — La chaleur spécifique des solutions électrolytiques 527

TAUDIN CHABOT (J.). — Sur les rayons Roentgen 67
TESLA. — Effets obtenus par les transformateurs à l'huile 118
THOMPSON (SYLVANUS P.). — Observations sur les rayons X 131, 603
— Voir *Pellat* 175
— Courants polyphasés 524
THURY. — Dispositif de graissage pour génératrices de courant 195
— Moteurs polyphasés. 203
TONKING. — Commutateur inverseur ou clef d'épreuve 227
TROUVÉ. — Appareil pour la préparation continue de l'acétylène 12

V W Z

VASCHY. — Théorie de l'électricité fondée uniquement sur l'expérience et le raisonnement 25, 111
VOGEL (O.). — Galvanisation électrolytique du fer 318
WEISS (PIERRE). — Recherches sur l'aimantation de la magnétite cristallisée. . 487
WESTINGHOUSE. — Aiguillage électro-pneumatique 296
WEELER. — Tour alésoir horizontal (voir *Crooker*). 292
— Dentiste électrique 21
— Poinçonneuse électrique (voir *Crooker*). 18
WIEN (MAX). — Appareil à self-induction variable 85
WIRTH. — Compteur chrono-électrique . . . 311
ZACHARIAS (F.). — Progrès dans la théorie et dans la construction des batteries secondaires 319
ZIELINSKI (H.). — Service de nuit automatique des bureaux centraux téléphoniques 124

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Imp. EM. MAUCHAUSSAT, 32 Boulevard de Vaugirard. — Paris


32101 049009341



